

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электроснабжение производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж»</b>

УДК 621.31.031:621.3.002.72(571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A18	Барлибаев Искандар Мухаммадали угли.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Плотников Игорь Александрович.	К.Т.Н., Доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коршунова Лидия Афанасьевна	К.Т.Н., Доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	К.Т.Н., Доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Электроснабжение промышленных предприятий</b>	<b>Завьялов В.М.</b>	<b>д.т.н., доцент</b>		

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭПП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.) **Завьялов В.М.**

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>бакалаврской работы</b>
----------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
З-5А18	Барлибаев Искандар Мухаммадали угли

Тема работы:

Электроснабжение производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	ИнЭО от 27.04.2016г. №3236/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	июнь 2016 года.
--	-----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<b>Разработка систем Электроснабжение производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж»</b>
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. История предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж»</li> <li>2. Исходные данные</li> <li>3. Расчёт электрических нагрузок</li> <li>4. Выбор схемы внешнего электроснабжения</li> <li>5. Выбор трансформаторов тока</li> <li>6. Схема измерений и учета электроэнергии в сети</li> <li>7. Расчёт цеховой сети</li> <li>8. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В и построение карты селективности</li> <li>9. Социальная ответственность</li> <li>10. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>11. Заключение</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Эпюра отклонения напряжения и карта селективности действия аппаратов защиты</li> <li>2. Схема внутрицехового электроснабжения и ведомость нагрузок цеха</li> <li>3. Генплан предприятия с картограммой нагрузок и указанием места расположения пунктов питания</li> <li>4. Принципиальная однолинейная схема питающей силовой сети монтажно-заготовительного цеха</li> <li>5. Принципиальная однолинейная схема питающей силовой сети предприятия</li> </ol>
<p align="center"><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p align="center"><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	К.т.н., доцент Коршунова Л.А.
Социальная ответственность	К.т.н., доцент Бородин Ю. В.

<p align="center"><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p align="center">10 марта 2016года</p>
---	---

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Плотников И.А.	К.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A18	Барлибаев Искандар Мухаммадали угли		

## Форма задания для раздела «Социальная ответственность»

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5A18	Барлибаев Искандар Мухаммадали угли

<b>Институт</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроснабжение промышленных предприятий</b>
Уровень образования	Бакалавриат		

#### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p><b>Трансформаторная подстанция</b></p> <p>1. КТПН с установленным в ней оборудованием и аппаратами должна соответствовать действующим требованиям согласно ПУЭ.</p> <p>2. Кабельные каналы закрываются съемными несгораемыми плитами и содержатся в чистоте.</p> <p>3. Токоведущие части закрываются сплошными ограждениями.</p> <p>4. Токоведущие части коммутационной аппаратуры должны быть защищены от случайных прикосновений.</p> <p>5. На дверях вывешиваются предупреждающие плакаты: „КТПН 10/0,4 кВ”, „Опасно для жизни”, „Посторонним вход воспрещен” и т. д.</p>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»; ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»; ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»; ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.; №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681; Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014).</p>

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Производственная безопасность.</i></p> <p><i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Выявленных вредных факторы производственной среды.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Шум от работающих механизмов (редукторов, двигателей, насосов.).</li> <li>- Вибрация.</li> <li>- Недостаточное освещение в темное время суток.</li> <li>- Вредные примеси в воздухе (попутный газ, параммиака сероводорода, нафталиновая фракция.).</li> <li>- Низкая температура зимой.</li> </ul>
---	--

<p><i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Выявленных опасных факторы проектируемой производственной среды</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вращающиеся части двигателей.</li> <li>- Возможность поражения электрическим током.</li> <li>- Пожар.</li> <li>- Взрыв.</li> </ul>
<p><i>2. Экологическая безопасность:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>В соответствии с п. 2.28 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитная зона предприятий II-III класса должна быть озеленена не менее 50% площади».</p> <p>Уловленное масло вывозится на регенерацию. Остатки замасленной воды вывозятся в выделенные санэпидстанцией места утилизации.</p> <p>Для поверхностного стока ливневых вод в районе площадки подстанции предусмотрена сливная канава, укрепленная бетонной стяжкой.</p> <p>Остальные твердые отходы утилизируются как бытовые.</p>
<p><i>3. Защита в чрезвычайных ситуациях:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Результат стихийных бедствий.</li> <li>2. Воздействие внешних природных факторов приводящих к старению материалов.</li> <li>3. Техничко-производственные дефекты сооружений.</li> <li><b>4. Нарушение правил эксплуатации сооружений и технических процессов.</b></li> <li>5. Нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.</li> </ol>
<p><i>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>-ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p> <p>-ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.</p> <p>-ГОСТ 1.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01.07.92)</p> <p>-ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.</p> <p>- СанПиН 2.2.4.548-96. Защита от теплового излучения.</p>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p><i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i></p>	<p>Рис. 15.2 План эвакуации</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Кафедра ЭБЖ	Бородин Ю.В.	К.Т.Н., Доцент		

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A18	Барлибаев Искандар Мухаммадали угли		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A18	Барлибаев Искандар Мухаммадали угли

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПП
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- стоимость материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоемкость работы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- нормы амортизации; - размер минимальной оплаты труда.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- отчисления в социальные фонды.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	- формирование вариантов решения с учетом научного и технического уровня.
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	- планирование выполнения проекта - график проектирования
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	- расчет бюджета на проектирование; - расчет капитальных вложений в основные средства.
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	
Перечень графического материала:	
1. График разработки и проектирования	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коршунова Лидия Афанасьевна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A18	Барлибаев Искандар Мухаммадали угли		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 112 с., 13 рис., 31 табл., 28 источников, 6 прил.

Ключевые слова: ООО «Кемеровоэлектромонтаж», монтажно-заготовительный цех, капитальные затраты на сооружение, производственная и экологическая безопасность.

Объектом работы является электрическая часть электроснабжения предприятия.

Цель работы – проектирование электроснабжения производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж», детальная проработка снабжения монтажно-заготовительного цеха.

В процессе работы проводился сбор исходных данных в ходе производственной практики непосредственно в ООО «КЭМ», расчет и проектирование системы электроснабжения данного предприятия.

В результате работы была рассчитана мощность потребляемая ООО «КЭМ», в соответствии с этим выбраны трансформаторы, КТП удовлетворяющие всем условиям, прокладываемых кабелей, коммутационного оборудования, измерительных трансформаторов. Произведена детальная проработка электроснабжения мастерских с выбором питающих кабелей и аппаратов защиты проверенных на селективное срабатывание. Также результатом работы стал экономический расчет капитальных затрат на сооружение данной схемы, определены условия безопасного труда на предприятии.

# Содержание

Введение.....	9
1 История предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж».....	11
2 Исходные данные.....	13
3 Расчёт электрических нагрузок.....	17
3.1 Определение расчётной электрической нагрузки цеха.....	17
3.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом.....	22
3.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок.....	26
4 Выбор схемы внешнего электроснабжения.....	30
4.1 Составление схемы электроснабжения.....	30
4.2 Выбор трансформаторов КТП 10кВ.....	30
4.3 Выбор КТП.....	33
4.4 Выбор сечения кабелей питания КТП 10 кВ.....	35
4.5 Выбор сечения кабелей внутренней сети 0,38 кВ.....	36
5 Выбор трансформаторов тока.....	38
6 Схема измерений и учёта электрической энергии в сети.....	40
7 Расчёт цеховой сети.....	42
7.1 Расчет цеховой электросети напряжением до 1000 В.....	42
7.2 Выбор аппаратов защиты электроприемников.....	49
7.3 Выбор сечений питающей сети цеха.....	52
7.4 Построение эпюр отклонения напряжения.....	56
8 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В и построение карты селективности.....	65
8.1 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В.....	65
8.2 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети.....	68
9 Социальная ответственность.....	70
9.1 Анализ опасных и вредных факторов.....	71
9.2 Техника безопасности.....	71
9.3 Производственная санитария.....	80
9.4 Пожарная безопасность.....	86
9.5 Экологическая безопасность.....	90
9.6 Чрезвычайные ситуации.....	91
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	94
10.1 Общие сведения.....	94
10.2 Планирование инженерного проекта.....	95
10.3 Смета затрат на проект.....	98
10.4 Формирование варианта оборудования.....	101
10.5 Смета затрат на электрооборудование.....	102
Заключение.....	103
Список литературы.....	105
Приложения .....	107



## Введение

Задачи электроснабжения предприятия предусматривают повышение уровня проектно-конструкторских разработок, внедрение и рациональную эксплуатацию высоковольтного электрооборудования, снижение производственных расходов электроэнергии при ее передаче, распределении и потреблении.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается электроснабжение производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж» в частности.

Во-первых, производится расчет нагрузки монтажно-заготовительного цеха методом упорядоченных диаграмм, причем на первом этапе расчет ведется без учета распределения электроприемников по распределительным пунктам. Целью этого этапа является закрепление навыков использования упомянутого метода расчета.

Во-вторых, определяется расчетная нагрузка предприятия в целом по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и линиях.

В-третьих, на основе уже полученных данных строится картограмма электрических нагрузок с целью определения места положения ОРУ на территории предприятия. Здесь уже рассматриваются исследовательские задачи, поскольку обычным расположением ОРУ в расчетной точке дело не ограничивается в силу специфичности расположения цехов по территории предприятия.

В-четвертых, рассчитывается схема внутреннего электроснабжения. Для этого выбирается число и мощности цеховых трансформаторных подстанций с помощью технико-экономического сравнения вариантов и проводники для их

соединения и питания. Данный расчет производится с учетом плотности нагрузки, которая иллюстрируется и на картограмме.

В-пятых, рассматривается схема внешнего электроснабжения. В данный расчет входит выбор напряжения питающей сети, сечения проводов, выбор мощности трансформаторов ОРУ. Все это проводится с учетом надежности электроснабжения.

В-шестых, рассчитываются токи короткого замыкания в сети выше 1000В для проверки правильности выбора сечений проводников, и токи короткого замыкания в сети ниже 1000В для построения карты селективности действия защитных аппаратов, с помощью которой, в свою очередь, можно проверить правильность выбора защитных аппаратов и селективность их действия.

Далее производится расчет электроснабжения производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж», который включает в себя: распределение приемников по пунктам питания; определение расчетных нагрузок по пунктам питания; выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке и проверка их по потере напряжения; выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты; построение эпюр отклонения напряжения от ОРУ до наиболее удаленного ЭП.

## **1 История предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж»**

Производственное предприятие ООО «Кемеровоэлектромонтаж» было создано в мае 1964 года и называлась Монтажное управление №7 треста «Электросибмонтаж». В январе 1993 года Монтажное управление было преобразовано в Акционерное общество «Кемеровоэлектромонтаж». Преобразование произведено в соответствии с Государственной программой приватизации государственных и муниципальных предприятий в РФ и Указами Президента Российской Федерации № 1334 от 05.11.92г. и № 922 от 14.08.92г. «Об особенностях преобразования государственных предприятий, объединений, организаций топливно-энергетического комплекса в акционерные общества. В 2004 году на предприятии поменялась форма собственности, из Акционерного общества Кемеровоэлектромонтаж стало Обществом с ограниченной ответственностью.

ООО «Кемеровоэлектромонтаж» предоставляет следующие услуги:

- Монтаж и ремонт электрооборудования и оборудования КИП и А
  - ТЭЦ, ГРЭС, АЭС
  - Высоковольтные подстанции от 6 до 1150 кВ.
  - Объекты жилищного и административно-бытового назначения.
  - Объекты промышленного назначения.
- Строительство объектов электроэнергетики

Нашей компанией осуществляется полный комплекс строительно-монтажных и пусконаладочных работ на объектах электроэнергетики:

- Воздушные линии электропередач
- Кабельные линии электропередач
- Подстанционное оборудование
- Общестроительные работы

- Электромонтажные работы
- Пусконаладочные работы
- Шеф-монтажные работы
- Комплекс работ на системах постоянного тока подстанций

- Изготовление и монтаж металлоконструкций

«Кемеровоэлектромонтаж» изготавливает металлоконструкции любой сложности по индивидуальным заказам от одной единицы до промышленных объёмов:

- Кабельные лотки
- Корпуса электрических шкафов (с последующей сборкой вторичной коммутации)
- Опорные металлоконструкции под электрооборудование и опоры ВЛ
- Гаражные ворота, двери, решётки, лестницы, ограждения
- Садовые теплицы любых размеров
- Сейфы
- Железнодорожные и автомобильные весы

## 2 Исходные данные

Для детального рассмотрения электроснабжения предприятия был выбран монтажно-заготовительный цех предназначенный для производства металлоконструкций для строительства и ремонта электроэнергетических объектов и монтажа электрооборудования. Сведения об электрических нагрузках цеха представлены в таблице 2.2, схема расположения электроприемников изображена на рисунке 2.2.

Таблица 2.1 - Сведения об электрических нагрузках ООО «Кемеровоэлектромонтаж»

Наименование цеха	Установленная мощность (кВт)	Число смен
Монтажно заготовительный участок	-	1
Участок малой механизации	100	1
Ремонтный участок	80	1
Административное здание	100	1
Склад	40	1
Гараж	50	1
Подсобное помещение	40	1

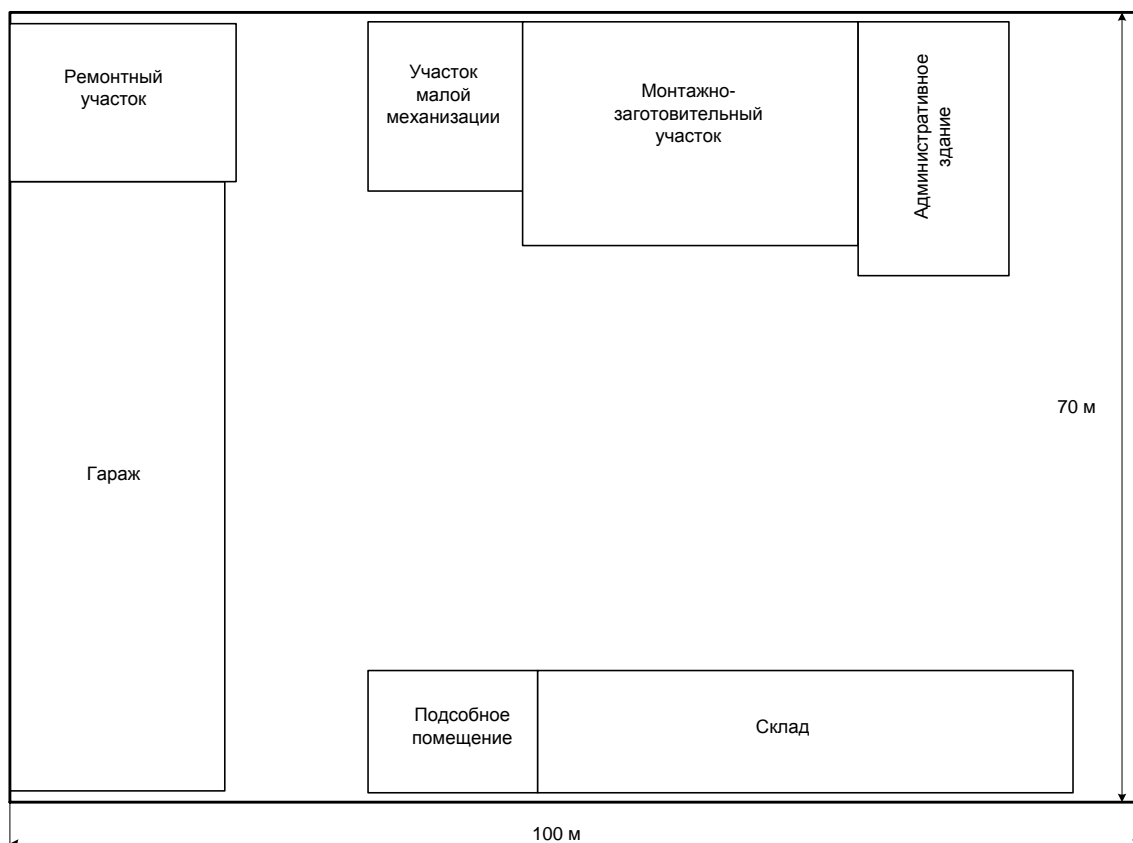


Рисунок 2.1 – Генеральный план ООО «Кемеровоэлектромонтаж»

Таблица 2.2 - Сведения об электрических нагрузках монтажно-заготовительного участка ООО «КЭМ»

№ на плане	Наименование Электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт	Класс напряжения, кВ
1-3	Пресс-ножницы	4,5	0,38
4	Пресс листогибочный	15	0,38
5	Токарно-винторезный станок	4,6	0,38
6,22	Трубогибочный станок	7	0,38
7,8	Кран-балка, ПВ=40%	8,5	0,38
9,10	Сварочный агрегат, ПВ=60%	25,5	0,38
11	Трансформатор сварочный, ПВ=40%	14	0,38
12,21	Шлифовальный станок	7,6	0,38
13,14,18,23	Сверлильный станок	7	0,38
15,20	Отрезной станок	4	0,38
16,19	Долбежный станок	5	0,38
17	Фрезерный станок	10	0,38
24	Внутри шлифовальный станок	8	0,38

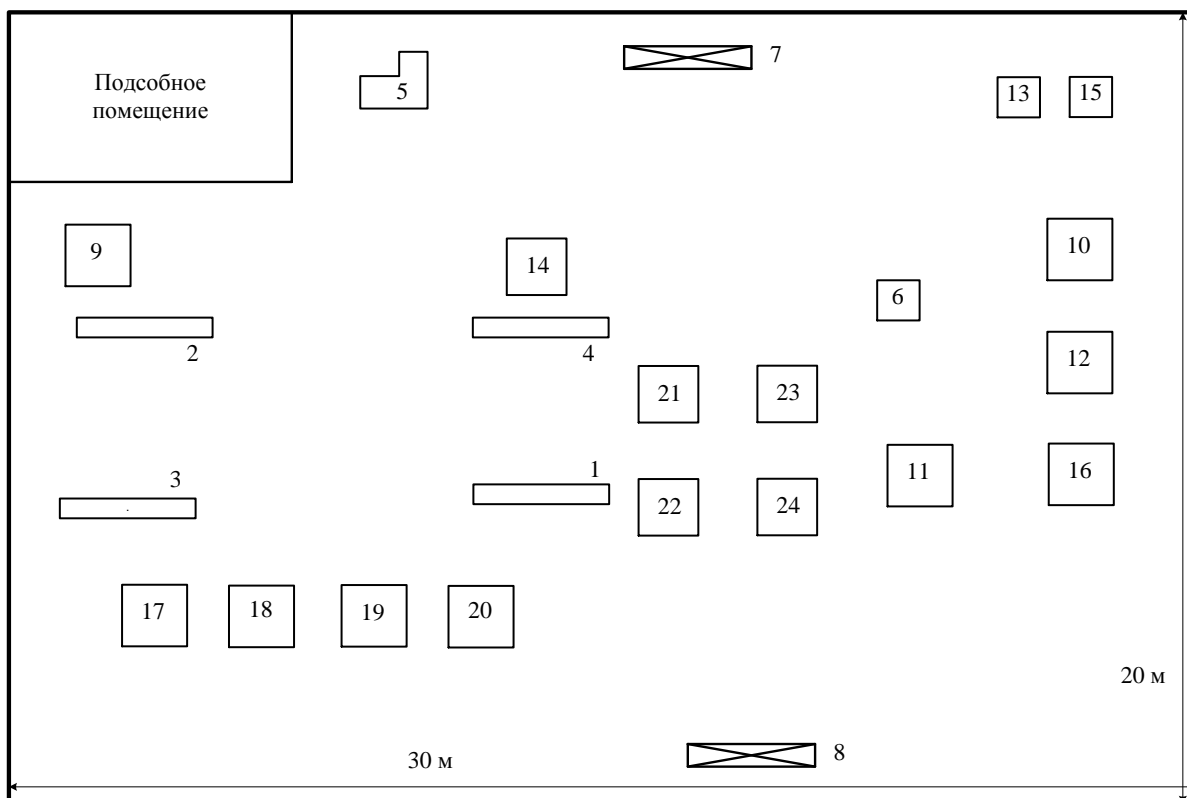


Рисунок 2.2 – План монтажно-заготовительного цеха

Таблица 2.3 - Характеристика среды производственных помещений  
и основных потребителей электроэнергии

Наименование цеха	Категория ЭП по степени бесперебойности питания (по ПУЭ)	Среда
Монтажно-заготовительный участок	II	пыльная
Участок малой механизации	II	пыльная
Ремонтный участок	II	пыльная
Административное здание	II	нормальная
Склад	III	нормальная
Гараж	III	нормальная
Подсобное помещение	III	нормальная

Таблица 2.4 - Сведения об электрических нагрузках монтажно-заготовительного цеха

№ на плане	Наименование электроприемника	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$P_{\text{н}}$ , кВт
1-3	Пресс-ножницы	0,65	0,8	4,5
4	Пресс листогибочный	0,65	0,8	15
5	Токарно-винторезный станок	0,14	0,8	4,6
6,22	Трубогибочный станок	0,14	0,6	7
7,8	Кран-балка, ПВ=40%	0,06	0,45	8,5
9,10	Сварочный агрегат, ПВ=60%	0,35	0,5	25,5
11	Трансформатор сварочный, ПВ=40%	0,35	0,4	14
12,21	Шлифовальный станок	0,14	0,6	4,6
13,14,18,23	Сверлильный станок	0,14	0,6	7
15,20	Отрезной станок	0,14	0,6	4,5
16,19	Долбежный станок	0,14	0,6	15
17	Фрезерный станок	0,14	0,6	7,6
24	Внутри шлифовальный станок	0,14	0,6	8,5

Представленных данных достаточно чтобы произвести расчет нагрузок, выбор необходимого оборудования и выбор схемы питания предприятия.



### 3 Расчет электрических нагрузок

#### 3.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха

При определении расчетной нагрузки цеха методом упорядоченных диаграмм все электроприемники разделяются на характерные группы с примерно одинаковыми коэффициентами использования  $K_{\text{и}}$  и мощности  $\cos\varphi$  с выделением групп ЭП с переменным и практически постоянным графиками нагрузки. К последним могут быть отнесены, например, ЭД насосов водоснабжения, вентиляторов, нерегулируемых дымососов, печей сопротивления и др. Для этого электроприемники (ЭП) цеха разбиваются на две характерные группы:

Таким образом, электроприёмники разделим на две группы (согласно данным Таблицы 2.4):

- Группа А – ЭП с переменным графиком нагрузки  $K_{\text{и}} < 0,6$
- Группа Б – ЭП с постоянным графиком нагрузки  $K_{\text{и}} \geq 0,6$ ;  $K_{\text{з}} \geq 0,9$ ;  $K_{\text{в}} = 1$ .

В литературе первая группа обозначается как группа А, вторая – как Б. Воспользуемся этим обозначением в данной работе. Исходные данные для каждого ЭП переписываем в таблицу 3.1.

#### Определение установленной мощности, приведенной к ПВ=100%

Для пересчета мощности механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме работы, с паспортной продолжительностью (ПВ)  $P_{\text{пасп}}$  на ПВ=100% воспользуемся следующей формулой

$$P_{\text{и}} = P_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}(\text{о.е.})}.$$

$$\text{Для кран-балки } P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 8,5 \sqrt{0,4} = 5,38 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{пасп}}$  -паспортная мощность ЭП, кВт;

ПВ- продолжительность включения ЭП, % [табл.2.2, приемник №37].

#### Расчет электроприемников 0,38 кВ

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы ЭП определяется по формуле

$$P_{cm} = K_H \cdot P_n,$$

где  $P_n$  - номинальная активная мощность рабочего ЭП, кВт;

$K_H$  - коэффициент использования его активной мощности.

Выполним расчет на примере станков разных, где примем для всех станков средневзвешенное значение  $K_H = 0,14$  [1, табл.2.2]

$$P_{cm} = K_H \cdot P_n = 0,14 \cdot 40,8 = 5,71(\text{кВт}) \text{ [см. табл.3.1, строка №2, столбец №5]}.$$

Для остальных ЭП расчет производим аналогично, полученные данные сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Определение расчетных нагрузок монтажно-заготовительного цеха.

1	Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество ЭП	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=P <sub>нmax</sub> /P <sub>нmin</sub>	Коэффициент использования К <sub>и</sub>	Cosφ/tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		число эффективное электроприемников ЭП	Коэффициент максимума К <sub>м</sub>	Максимальная нагрузка			Расчетный ток I <sub>p</sub>
			Одного ЭП P <sub>н</sub> , кВт	Общая P <sub>н</sub> , кВт				P <sub>см</sub> =K <sub>и</sub> *P <sub>н</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> =P <sub>см</sub> *tgφ, кВар			P <sub>м</sub> =K <sub>м</sub> *P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>м</sub> =Q <sub>см</sub> при пэ>10 Q <sub>м</sub> =1,1Q <sub>см</sub> при пэ<10	S <sub>м</sub> = P <sub>м</sub> + Q <sub>м</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Электроприемники 0,38 кВ															
1	<b>Группа А</b>														
2	Станки разные	15	4-10	97,8		0,14	0,6/1,33	13,7	18,21						
3	Кран-балка, ПВ=40%	2	5,38	10,76		0,06	0,45/1,98	0,65	1,28						
4	Сварочный агрегат, ПВ=60%	2	19,8	39,6		0,35	0,5/1,73	13,86	23,98						
5	Трансформатор сварочный, ПВ=40%	1	8,85	8,85		0,35	0,4/2,29	3,54	8,1						
6	<b>Итого по группе А</b>	20	4-19,8	157,01	>3	0,202		31,75	51,57	16	1,61	51,12	51,57		
7	<b>Группа Б</b>														
8	Прессы	4	4,5-15	28,5		0,65	0,8/0,75	18,525	13,89						
9	<b>Итого по группе Б</b>	4	4,5-15	28,5		0,65	0,8/0,75	18,525	13,89			18,525	13,89		
10	Осветительная нагрузка			10		K <sub>co</sub> =0,85		8,5				8,5			
11	<b>Итого по цеху</b>	24	4-19,8	194,51				57,925	65,46			77,3	65,46	101,3	

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы ЭП определяется по формуле

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - соответствующее значение коэффициента мощности ЭП.

Выполняем расчет на примере станков разных

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 13,7 \cdot 1,33 = 18,21 (\text{кВАр})$$

[табл.3.1, строка №2, столбцы №8 и 9].

Для остальных ЭП расчет производим аналогично, полученные данные сводим в таблицу 3.1.

Для определения расчетной активной  $P_m$  и реактивной  $Q_m$  нагрузок необходимо выяснить значение коэффициента максимума, который определяется по средневзвешенному коэффициенту использования  $K_{и.ср}$  и по эффективному числу электроприемников  $n_e$  [2, табл.1.8].

Средневзвешенный коэффициент использования группы ЭП определяется по формуле

$$K_{и.ср} = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_n},$$

где  $\sum P_{cm}$  - суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену группы ЭП цеха, кВт;

$\sum P_n$  - суммарная установленная мощность группы электроприемников цеха, кВт.

$$K_{и.ср} = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_{ном}} = \frac{31,75}{157,01} = 0,202 \text{ [табл.3.1, строка №6, столбцы № 5 и 9].}$$

### **Определение эффективного числа электроприёмников $n_e$ группы А**

Эффективное (приведенное) число ЭП  $n_e$  - это такое число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума  $P_m$ , что и группа ЭП, различных по мощности и режиму работы. Для определения  $n_e$  воспользуемся формулой, рекомендуемой при расчетах на ЭВМ:

$$n_3 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n P_{ном.} \right]^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном.}^2} = \frac{(4,6 + 14 + 15,2 + 28 + 8 + 10 + 10,76 + 10 + 8 + 8,85 + 39,6)^2}{4,6^2 + 2 \cdot 7^2 + 2 \cdot 7,6^2 + 4 \cdot 7^2 + 2 \cdot 4^2 + 2 \cdot 5^2 + 2 \cdot 5,38^2 + 10^2 + 8^2 + 2 \cdot 19,8^2 + 8,85^2} = 15,43$$

принимаем  $n_3=16$

где  $P_{ном}$  – номинальные мощности электроприемников группы А, взятые из табл. 2.2.

Находим коэффициент максимума  $K_M = 1,61$ . Определяем расчетную активную ( $P_M$ ) и реактивную ( $Q_M$ ) максимальные мощности ЭП группы А

$$P_M = K_M \cdot P_{см} = 1,61 \cdot 31,75 = 51,12 \text{ (кВт)}$$

[ табл.3.1. строка №8, столбцы №9 и 12];

при  $n_y > 10$   $Q_M = Q_{см} = 51,57 \text{ (кВАр)}$  [табл.3.1. строка №6, столбец №10].

Полученные при расчете данные сводим в таблицу 3.1.

Для электроприемников группы Б с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная и реактивная мощность принимается равной средней за наиболее загруженную смену [табл. 3.1.].

### Определение осветительной нагрузки

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха определяется по установленной мощности ( $P_{н.о.}$ ) и коэффициенту спроса ( $K_{с.о.}$ )

$$P_{ро} = K_{со} \cdot P_{но}; \quad P_{но} = P_{уд.о} \cdot F_{цх}.$$

где  $P_{ро}$  - расчетная нагрузка осветительных приемников цеха;

$K_{со}$  - коэффициент спроса осветительной нагрузки. Определяется по [2, табл.1.10];

$P_{но}$  - номинальная нагрузка осветительных приемников цеха;

$P_{уд.о}$  - удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м<sup>2</sup> [2, табл.1.11] По справочнику для производственных зданий состоящих из ряда отдельных помещений находим  $K_{с.о.}=0,85$ .

$F$  - площадь цеха.

$$P_{уд.о} = 17 \text{ (Вт / м}^2\text{)}; \quad K_{со} = 0,85; \quad F = 600 \text{ м}^2$$

$$P_{но} = 17 \cdot 600 = 10,2 \text{ кВт};$$

$$P_{po} = 0,85 \cdot 10,2 = 8,67 \text{ кВт.}$$

Все расчеты сводим в Таблицу 3.1.

Полная расчётная нагрузка цеха (с учётом освещения) определяется по формуле

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + Q_p^2} = \sqrt{77,3^2 + 1415,34^2} = 101,3(\text{кВА}).$$

[см. табл.3.1. строка №11, столбец №9 и 10].

Расчетный ток определяем по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

где  $U_n$  - номинальное напряжение сети, кВ.

Определяем расчётный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{101,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 153,91(\text{А}). \text{ [табл.3.1. строка №11, столбец №15].}$$

### 3.2 Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.

Расчётная полная мощность предприятия определяется по расчётным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1000 В) с учётом расчётной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ОРУ и потерь в высоковольтных линиях.

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цехов определяются из выражений

$$P_p = K_c \cdot P_n;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $P_p$  – суммарная установленная мощность всех приёмников цеха;

$P_n$  – суммарная номинальная мощность всех приёмников цеха, равная

$$P_n = 5 \cdot P_{n(0,38)} = 5 \cdot 194,51 = 972,55(\text{кВт})$$

[табл.3.1. строка №11, столбец №5];

$K_c$  – коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным;

$tg\varphi$  – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности.

Определим расчетную нагрузку силовых приемников котельного цеха на стороне 0,38 кВ из таблицы 3.1. (строка №11, столбцы №13 и 14)

$$P_p = 77,3(\text{кВт})$$

$$Q_p = 65,46(\text{кВАр})$$

Таблица 3.2 - Определение расчетных нагрузок по цехам предприятия по установленной мощности и коэффициенту спроса

№ строк и	Наименование потребителей (цехов)	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузки		
		P <sub>н</sub> ,	K <sub>с</sub>	cosφ/tgφ	P <sub>р</sub> ,	Q <sub>р</sub> ,	F,	P <sub>уд о</sub> ,	P <sub>но</sub> ,	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> ,	P <sub>р</sub> +P <sub>ро</sub> ,	Q <sub>р</sub> ,	S <sub>р</sub> ,
		кВт			кВт	кВАр	м <sup>2</sup>	кВт/ м <sup>2</sup>	кВт		кВт	кВт	кВАр	кВА
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Монтажно- заготовительный участок	101,3	---	---	77,3	65,46	600	0,016	9,6	0,85	8,16	85,46	65,46	107,65
2	Участок малой механизации	100	0,6	0,8/0,75	60	45	200	0,016	3,2	0,85	2,72	62,72	45	77,19
3	Ремонтный участок	80	0,6	0,8/0,75	48	36	250	0,016	4	0,85	3,4	51,4	36	62,75
4	Административное здание	100	0,6	0,8/0,75	60	45	550	0,016	8,8	0,95	8,36	68,36	45	81,84
5	Склад	40	0,6	0,8/0,75	24	18	300	0,015	1,5	0,6	0,9	24,9	18	30,72
6	Гараж	50	0,6	0,8/0,75	30	22,5	400	0,016	6,4	0,6	3,84	33,84	22,5	40,64
7	Подсобное помещение	40	0,6	0,8/0,75	24	18	150	0,016	2,4	0,85	2,04	26,04	18	31,66
8	<b>Итого по 0,38 кВ</b>	511,3			323,3	249,96	2450		35,9		29,42	352,72	249,96	432,31



Расчет осветительной нагрузки собственных нужд котельного отделения идентичен расчету осветительной нагрузки цеха. Но в данном случае плотность нагрузки на единицу площади берется  $10 - 20 \text{ Вт/м}^2$ , а коэффициент спроса по осветительной нагрузке  $K_{co} = 0,6 - 1,0$ , в зависимости от производственного здания.

$$P_{но} = F \cdot P_{уд о};$$

$$P_{po} = K_{co} \cdot P_{но}$$

где  $P_{но}$  – номинальная осветительная нагрузка цеха;

$F$  – площадь цеха;

$P_{уд о}$  – удельная плотность нагрузки на освещение;

$P_{po}$  – расчетная осветительная нагрузка цеха.

Определим расчетную осветительную нагрузку монтажно-заготовительного цеха

$$P_{но} = 600 \cdot 0,016 = 9,6 (\kappa Bm);$$

$$P_{po} = 0,85 \cdot 9,6 = 8,16 (\kappa Bm).$$

[табл.3.2. столбцы №10 и 12]

Для других цехов расчеты производим аналогично, полученные данные сводим в таблицу 3.2.

Определим полную расчетную низковольтную ( $\Sigma P_p^H, \Sigma Q_p^H, \Sigma P_{po}$ ) и высоковольтную ( $\Sigma P_p^B, \Sigma Q_p^B$ ) нагрузку предприятия в целом из таблицы 3.2.

Зная выше указанные величины определяем полную мощность низковольтной нагрузки

$$S_p^H = \sqrt{(\Sigma P_p^H + \Sigma P_{po})^2 + \Sigma Q_p^{H2}} = \sqrt{(323,3 + 29,42)^2 + 249,96^2} = 432,31 \kappa BA$$

Так как трансформаторы цеховых подстанций и кабели распределительной сети еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них можно определить из выражений:

$$\Delta P_m = 0,02 S_p^H = 0,02 \cdot 432,31 = 8,65 (\kappa Bm);$$

$$\Delta Q_m = 0,1 S_p^H = 0,1 \cdot 432,31 = 43,231 (\kappa BAp);$$

$$\Delta P_{\lambda} = 0,03 S_p^H = 0,03 \cdot 432,31 = 12,97 (\kappa Bm),$$

где  $\Delta P_m$  - потери активной мощности в трансформаторах цеховых подстанций;

$\Delta Q_m$  - потери реактивной мощности в трансформаторах цеховых подстанций;

$\Delta P_d$  - потери в кабелях распределительной сети;

$S_p^H$  – расчётная мощность предприятия на шинах напряжением до 1000 В за максимально загруженную смену.

Аналогичные расчеты производим на компьютере и предоставляем их результаты [табл. 3.2].

### 3.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Для определения места расположения ОРУ на генплане предприятия наносится картограмма электрических нагрузок. Картограмма нагрузок представляет собой размещенные на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определенном масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов. Считаем, что нагрузка по цеху распределена равномерно, поэтому центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех на плане.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяются из выражения

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}},$$

где  $S_{pi}$  – расчётная мощность  $i$  –го цеха с учётом освещения, КВА;

$m$  – масштаб для определения площади круга, кВА/мм<sup>2</sup> (постоянный для всех цехов предприятия). Для нагрузки 0,4 кВ примем  $m=0,5$  кВА/мм<sup>2</sup> и для нагрузки 6кВ  $m=1$  кВА/мм<sup>2</sup>.

В качестве примера определим радиус окружности для монтажно-заготовительного цеха

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{p1}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{107,65}{3,14 \cdot 0,5}} = 8,3 (\text{мм}).$$

[ табл.3.2, строка №1, столбец №15]

Для остальных цехов расчет производим аналогично, результаты расчета сводим в таблицу 3.3.

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора ( $\alpha$ ) определяется из соотношения полных расчётных ( $S_{pi}$ ) и осветительных нагрузок ( $P_{po}$ ) цехов

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}}.$$

В качестве примера определяем угол сектора для осветительной нагрузки монтажно-заготовительного цеха

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}} = \frac{360 \cdot 8,16}{107,65} = 27,3(град).$$

[табл.3.2, строка №1, столбцы №12, 15]

Для других цехов расчеты производим аналогично. Полученные при расчетах данные сводим в таблицу 3.3.

На генплане предприятия произвольно наносятся оси координат и определяются значения  $x_i$  и  $y_i$  для каждого цеха [рис. 3.1.]. Координаты центра электрических нагрузок завода  $x_0$  и  $y_0$  определяются по формулам:

$$x_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot x_i}{\sum S_{pi}}, \quad y_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}}.$$

Определяем координаты центра электрических нагрузок предприятия, по  $S_{pi}x_i$ ,  $S_{pi}y_i$  и  $S_{pi}$  [табл.3.3.]:

$$x_0 = \frac{\sum S_{pi}x_i}{\sum S_{pi}} = \frac{21563,7}{432,31} = 49,88(м); \quad y_0 = \frac{\sum S_{pi}y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{20623,15}{432,31} = 47,7(м).$$

Центр электрических нагрузок находится на территории монтажно-заготовительного цеха, следовательно, установка РУ в этом месте невозможна. Переносим РУ-10 кВ в сторону питающей сети, т.е. ближе к центру питания.

Генплан ООО «Кемеровоэлектромонтаж» с картограммой нагрузок представлен на рисунке 3.1.

Таблица 3.3 - Расчётные данные для построения картограммы нагрузок

№ цеха на генплане	$S_{pi}$ , КВА	$P_{po}$ , КВт	$r$ , мм	$\alpha$ , град	$x_i$ , м	$y_i$ , м	$S_{pi} \cdot x_i$ , КВА·м	$S_{pi} \cdot y_i$ , КВА·м	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Потребители 0,38 КВ</b>									
Монтажно- заготовительный участок	107,65	8,16	8,3	27,3	65	55	6997,25	5920,75	$m=0,5 \text{ КВА/ мм}^2$  $x_0 = \frac{21563,7}{432,31} = 49,88 \text{ (м)}$  $y_0 = \frac{20623,15}{432,31} = 47,7 \text{ (м)}$
Участок малой механизации	77,19	2,72	7	12,7	45	60	3473,55	4631,4	
Ремонтный участок	62,75	3,4	6,3	19,5	10	62	627,5	3890,5	
Административное здание	81,84	8,36	7,2	36,8	80	53	6547,2	4337,5	
Склад	30,72	0,9	4,4	10,5	70	10	2150,4	307,2	
Гараж	40,64	3,84	5,1	34	10	30	406,4	1219,2	
Подсобное помещение	31,66	2,04	4,5	23,2	43	10	1361,4	316,6	
<b>Итого</b>	432,31	29,42	-	-	-	-	21563,7	20623,1 5	

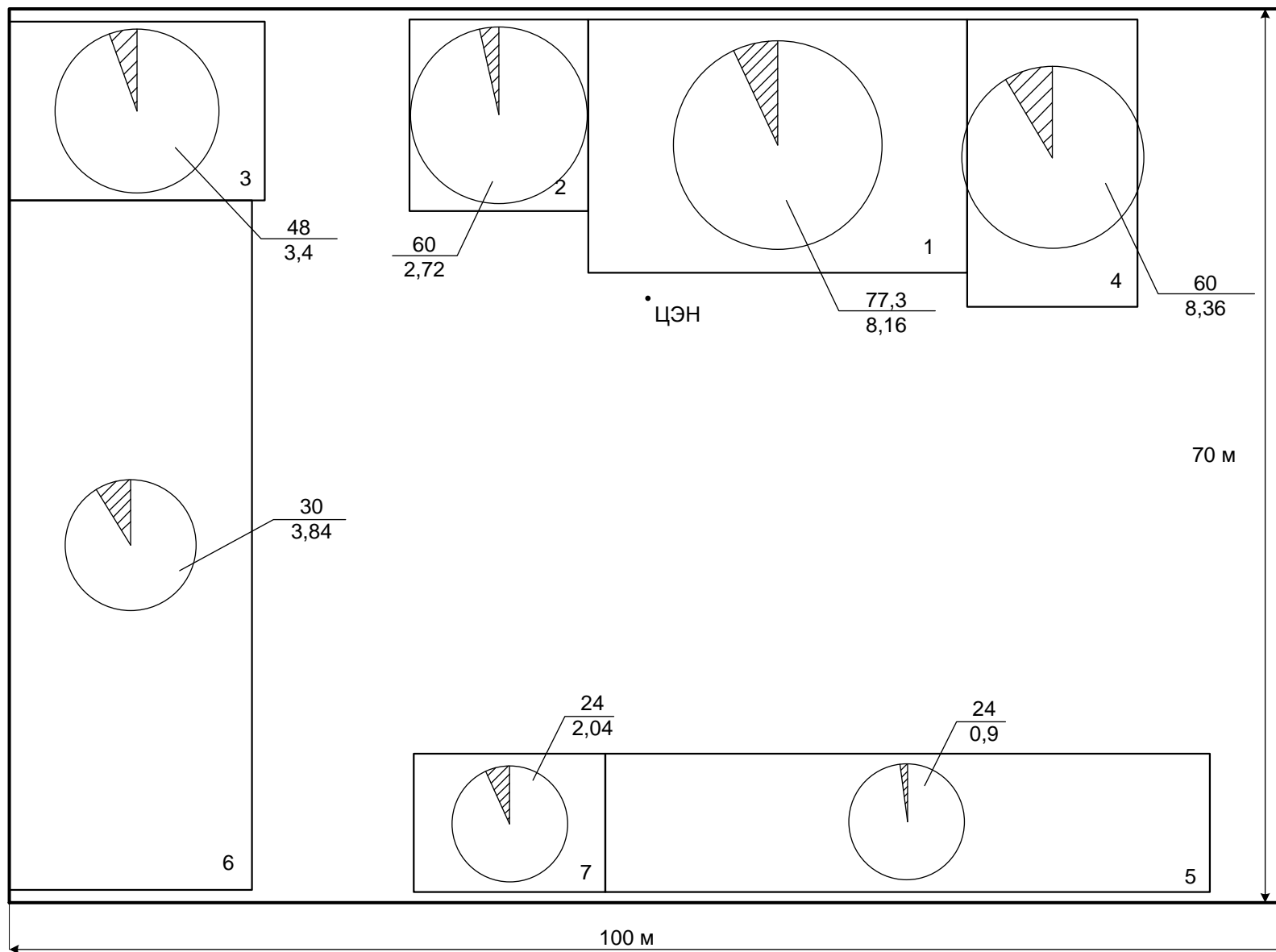


Рисунок 3.1 - Генплан ООО «Кемеровоэлектромонтаж» с картограммой нагрузок

## 4 Выбор схемы внешнего электроснабжения

### 4.1 Составление схемы электроснабжения

Поскольку расчетная мощность ООО «Кемеровоэлектромонтаж» невелика и составляет 432,31 кВА, целесообразно принять напряжение питающей сети 10 кВ.

### 4.2 Выбор трансформаторов КТП 10кВ

Как правило, по условию надежности электроснабжения число трансформаторов должно быть не менее двух. Это обеспечивает надёжное питание потребителей всех категорий. Для уменьшения токов короткого замыкания. работа трансформаторов на двухтрансформаторных подстанциях, в сетях промышленных предприятий, предусматривается раздельной. Следует стремиться применять однотипное оборудование для упрощения замены в случае выхода из строя, а также для сокращения номенклатуры складского резерва.

Из суточного графика нагрузок предприятия (рис.4.3.) определяем максимальную полную мощность и время максимума нагрузки.

$$S_{\max} = 389,14 \text{ кВА}; \quad t_{\max} = 1 \text{ час}$$

Определяем коэффициент заполнения графика нагрузки.

$$K_{\text{зан}} = \frac{S_{\text{ср}}}{S_{\max}} = \frac{214,4}{389,14} = 0,6$$

По  $K_{\text{зан}} = 0,6$  и  $t_{\max} = 1 \text{ час}$  с помощью [4, рис.3.9.] определяем коэффициент кратности допустимой перегрузки:  $K_{\text{н}} = 1,1$

Определяем номинальную мощность трансформатора

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\max}}{K_{\text{н}}} = \frac{389,14}{1,1} = 353,8 \text{ кВА.}$$

Рассмотрим два возможных варианта выбора номинальной мощности трансформаторов КТП: 400 кВА и 250 кВА.

#### ***Вариант 1 Выбор трансформатора ТМ-400/10***

Намечаем для дальнейшего рассмотрения два трансформатора

ТМ-400/10,  $S_{ном.тр} = 400 \text{ кВА}$ .

Коэффициент загрузки трансформатора определяется по формуле

$$\beta_1 = \frac{S_{\max}}{2 \cdot S_{ном.тр1}} = \frac{389,14}{2 \cdot 400} = 0,49$$

Определяем допустимую систематическую перегрузку трансформаторов в соответствии с суточным графиком

$$S'_{доп1} = S_{ном} \cdot K_n = 400 \cdot 0,1 = 40 \text{ кВА}$$

За счет неравномерности годового графика нагрузки (недогрузка в весенне-летний период) может быть допущена дополнительная перегрузка, но не более 15%.

$$S''_{доп1} = S_{ном} \cdot 0,15 = 400 \cdot 0,15 = 60 \text{ кВА}$$

Определяем суммарную допустимую перегрузку трансформаторов в нормальном режиме при максимальной нагрузке по формулам

$$S_{доп1} = S'_{доп1} + S''_{доп1} = 40 + 60 = 100 \text{ кВА};$$

$$S_{доп1} \leq 0,3 \cdot S_{ном.тр1} = 0,3 \cdot 400 = 120 \text{ кВА};$$

$$100 \text{ кВА} < 120 \text{ кВА}.$$

Проверяем возможность работы трансформатора в послеаварийном режиме при перегрузке 40% и обеспечении потребителей I и II категории

$$1,4 \cdot S_{ном.тр1} = 1,4 \cdot 400 = 560 \text{ кВА};$$

$$0,75 \cdot S_{\max} = 0,75 \cdot 389,14 = 291,9 \text{ кВА};$$

$$560 \text{ кВА} > 291,9 \text{ кВА},$$

где 0,75 - доля потребителей II категории.

Выбранный трансформатор ТМ-400/10 проходит проверку и рассматривается для дальнейшего расчета.

### ***Вариант 2 Выбор трансформатора ТМ-250/10***

Намечаем для дальнейшего рассмотрения два трансформатора

ТМ-250/10,  $S_{ном.тр} = 250 \text{ кВА}$ .

При этом коэффициент загрузки трансформатора определяется по формуле

$$\beta_1 = \frac{S_{\max}}{2 \cdot S_{\text{ном.тр1}}} = \frac{389,14}{2 \cdot 250} = 0,78$$

Определяем допустимую систематическую перегрузку трансформаторов в соответствии с суточным графиком по формуле:

$$S'_{\text{доп1}} = S_{\text{ном}} \cdot K_n = 250 \cdot 0,1 = 25 \text{ кВА}$$

За счет неравномерности годового графика нагрузки (недогрузка в весенне-летний период) может быть допущена дополнительная перегрузка, но не более 15%.

$$S''_{\text{доп1}} = S_{\text{ном}} \cdot 0,15 = 250 \cdot 0,15 = 37,5 \text{ кВА}$$

Определяем суммарную допустимую перегрузку трансформаторов в нормальном режиме при максимальной нагрузке по формуле

$$S_{\text{доп1}} = S'_{\text{доп1}} + S''_{\text{доп1}} = 25 + 37,5 = 72,5 \text{ кВА};$$

$$S_{\text{доп1}} \leq 0,3 \cdot S_{\text{ном.тр1}} = 0,3 \cdot 250 = 75 \text{ кВА};$$

$$72,5 \text{ кВА} < 75 \text{ кВА}.$$

Проверяем возможность работы трансформатора в послеаварийном режиме при перегрузке 40% и обеспечении потребителей II категории.

$$1,4 \cdot S_{\text{ном.тр1}} = 1,4 \cdot 250 = 350 \text{ кВА};$$

$$0,75 \cdot S_{\max} = 0,75 \cdot 389,14 = 291,9 \text{ кВА};$$

$$350 \text{ кВА} > 291,9 \text{ кВА},$$

где 0,75 - доля потребителей II категории.

Выбранный трансформатор ТМ-250/10 проходит проверку и рассматривается для дальнейшего расчета.

Паспортные данные по выбранным вариантам приведены в таблицах 4.3. и 4.4.

Таблица 4.3 - Технические данные трансформатора ТМ-400/10

$T_{un}$	$S_{\text{ном}},$ кВА	$U_{\text{вн}},$ кВ	$U_{\text{нн}},$ кВ	$P_{\text{хх}},$ Вт	$Q_{\text{хх}},$ кВАр	$P_{\text{кз}},$ кВт	$Q_{\text{кз}},$ кВАр	$u_{\text{кз}},$ %	$I_{\text{хх}},$ %
ТМ	400	10	0,4	0,83	7,2	5,4	18	4,5	1,8

Таблица 4.4 - Технические данные трансформатора ТМ-250/10

$T_{un}$	$S_{\text{ном}},$ кВА	$U_{\text{вн}},$ кВ	$U_{\text{нн}},$ кВ	$P_{\text{хх}},$ кВт	$Q_{\text{хх}},$ кВАр	$P_{\text{кз}},$ кВт	$Q_{\text{кз}},$ кВАр	$u_{\text{кз}},$ %	$I_{\text{хх}},$ %
ТМ	630	10	0,4	0,58	4,5	3,7	11,25	4,5	1,8



### **4.3     Выбор КТП.**

Для питания предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж» устанавливаем двухтрансформаторную КТП. Она должна быть запитана по радиальной схеме для повышения надежности электроснабжения. Двухтрансформаторные ТП запитываются от разных секций ОРУ.

Распределение электрических нагрузок производится таким образом, чтобы фактический коэффициент загрузки варьировался в пределах  $0,6 \div 0,9$ .

Для покрытия всей мощности предприятия устанавливаем комплектную трансформаторную подстанцию типа 2КТПТАС мощностью 630 кВА.

Принципиальная электрическая схема 2КТПТАС 630 кВА представлена на рисунке 4.3.

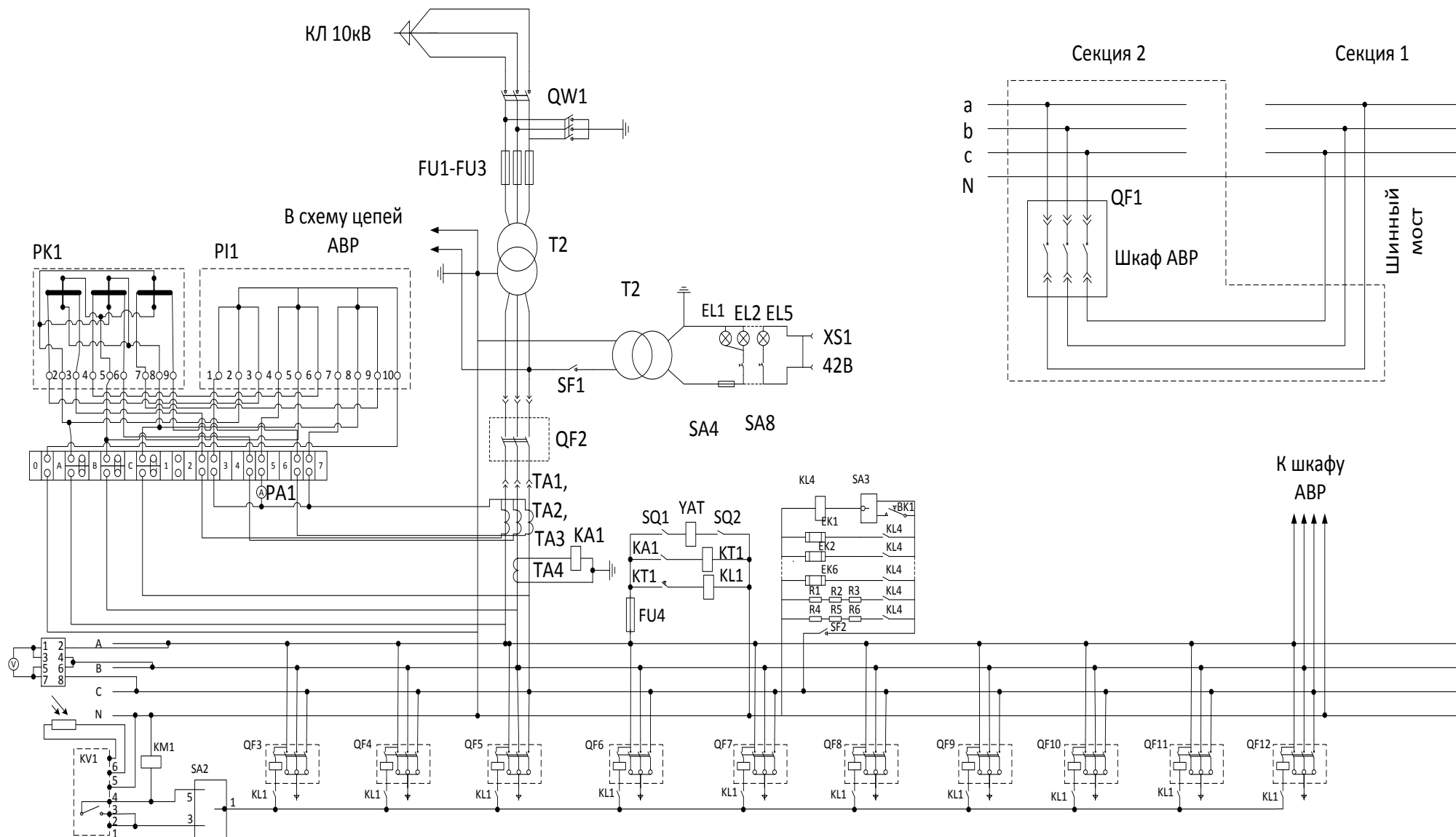


Рисунок 4.3 – Схема электрическая принципиальная 2КТПТАС с АВР мощностью 630 кВА (секция 1, секция 2)

#### 4.4 Выбор сечения кабелей питания КТП 10 кВ

Питающая линия 10 кВ выполняется кабельными линиями, проложенными в траншеях. Сечения кабельных линий выбираются по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $F$ , мм<sup>2</sup>, определяется из выражения

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}},$$

где  $I_p$  – расчетный ток установки, А;

$j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>,  
принимается по справочным данным.

Полученное сечение округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток должен соответствовать условиям нормальной работы, при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях. Расчетным током линии для питающих трансформаторов, преобразователей, высоковольтных электродвигателей и трансформаторов электропечей является их номинальный ток, независимо от фактической нагрузки.

Рассматриваются две параллельные линии, идущие с двух секций РУ-10 кВ до каждого трансформатора на КТП, т.е.  $n=2$ .

Расчетный ток

$$I_p = \frac{2 \cdot S_p^n}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 400}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 23,1 (A)$$

где  $S_p^n$  - номинальная мощность трансформатора.

$$I_{\text{расч.ав.}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 23,1 = 46,2 (A).$$

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{23,1}{1,2} = 19,25 (\text{мм}^2)$$

Принимаем  $S = 25 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} = 90 \text{ А}$ , [2, табл. 3.8.].

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{нр}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 90 = 81 (A) > I_{\text{расч}} = 23,1 (A);$$

где  $K_{\text{нр}} = 0,9$  – коэффициент прокладки для расстояния 100мм между соседними кабелями при числе параллельно проложенных кабелей равном двум [2, табл. 3.13.].

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 81 = 105,3(A) > I_{\text{расч.ав}} = 46,2(A).$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок. Принимаем кабель марки ААБв – (4×25).

#### 4.5 Выбор сечения кабелей внутренней сети 0,38 кВ

Распределительная сеть ниже 1000 В по территории завода выполняется кабельными линиями, проложенными в траншеях. Согласно ПУЭ, расчет сетей до 1000В по экономической плотности тока производится для цехов, имеющих число часов использования максимума  $T_m$  более 4000-5000 часов, при этом по  $j_{\text{эк}}$  выбираются лишь силовые питающие сети до 1000 В (сети от трансформаторной подстанции до вводных распределительных устройств). Экономически целесообразное сечение  $F$ , мм<sup>2</sup>, определяется из выражения

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}},$$

где  $I_p$  – расчетный ток установки, А;

$j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, принимается по справочным данным.

Полученное сечение округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток должен соответствовать условиям нормальной работы, при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях. Расчетная мощность для распределительного устройства равна полной мощности цеха, в котором оно установлена.

##### КЛ от КТП до РУ-1

$$I_{\text{расч.}} = \frac{S_2}{n_{\phi} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} = \frac{107,65}{2\sqrt{3} \cdot 0,38} = 81,8(A),$$

где  $S_1$  - полная мощность РУ-1,

$n_{\phi}$  - количество цепей.

Расчетный ток в аварийном режиме

$$I_{\text{расч.ав.}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 81,8 = 163,6(A).$$

Экономическое сечение при работе предприятия с  $T_{\max} > 4000\text{ч}$  в год при питании кабелями с пластмассовой изоляцией и алюминиевыми жилами определяется для экономической плотности тока  $j = 1,4\text{А/мм}^2$  [2, табл.3.16.].

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{расч.}}}{j} = \frac{81,8}{1,4} = 58,4 (\text{мм}^2).$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение  $S = 70\text{мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 210\text{А}$  [2, табл. 3.7.].

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учётом допустимой перегрузки в аварийном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 210 = 189 (\text{А}) > I_{\text{расч}} = 81,8\text{А};$$

где  $K_{\text{пр}} = 0,9$  – коэффициент прокладки для расстояния 100мм между соседними кабелями при числе параллельно проложенных кабелей равном двум.

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 189 = 245,7 (\text{А}) > I_{\text{расч.ав}} = 163,6\text{А}$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок. Принимаем кабель марки АВВГ – (3×70).

Расчет для других КЛ аналогичен, результаты сведем в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 - Выбор сечений КЛ на 0,38 кВ распределительной сети предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж»

№	№ линии	Назначение линии	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		Способ прокладки	Марка и сечение кабеля, $S, \text{мм}^2$ .	Допустимая нагрузка на один кабель		$I_{\text{доп}}, \text{А}$
				$I_{\text{р}}, \text{А}$	$I_{\text{п/ав}}, \text{А}$			$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$1,3 \cdot I'_{\text{доп}}, \text{А}$	
1	2	3	4	5	6	8	10	11	12	13
1	31	КТП – РУ1	2	81,8	163,6	Траншея	АВВГ – (3х70)	189	245,7	210
2	32	КТП – РУ2	2	62,17	124,34		АВВГ – (3х50)	157,5	204,75	175
3	33	КТП – РУ3	2	58,65	117,3		АВВГ – (3х50)	157,5	204,75	175
4	34	КТП – РУ4	2	47,4	94,8		АВВГ – (3х50)	157,5	204,75	175
5	35	КТП – РУ5	2	78,54	157,1		АВВГ – (3х70)	189	245,7	210

## 5 Выбор трансформаторов тока

Трансформатор тока предназначен для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Осуществляем выбор по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_{ном} \leq I_{ном}$ ;  $I_{max} \leq I_{ном}$ ;
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ ;
5. По вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ ном}}; r_2 = Z_2 \leq Z_{2\text{ ном}},$$

где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2\text{ ном}}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Принимаем к установке трансформатор тока марки ТОЛ-0,66-1

Проверим выбранный трансформатор тока по вторичной нагрузке.

Таблица 5.1 - Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Счетчик активной энергии	САЗ-И 680	2,5	-	2,5
Счетчик реактивной энергии	СР4-И 682	2,5	-	2,5
Амперметр регистрирующий	Н-344	-	10	-
Релейная защита	РНТ-565	1,5	1,5	1,5
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Варметр	Д-335	0,5	-	0,5
Итого		7,5	11,5	7,5

Наиболее загружен трансформатор тока фазы В.

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{11,5}{25} = 0,46 \text{ Ом.}$$

Допустимое сопротивление проводов

$$r_{np} = z_{2ном} - r_{приб} - r_k = 1,2 - 0,46 - 0,1 = 0,64 \text{ Ом},$$

где  $r_k=0,1$  Ом – принимается при числе приборов, большем трех (сопротивление контактов).

Зная  $r_{np}$ , можно определить сечение соединительных проводов

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{np}},$$

где  $\rho=0,0283$  – удельное сопротивление провода с алюминиевыми жилами, Ом/м;

$l_{расч}$  - расчётная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока. Трансформаторы тока соединены в полную звезду,  $l_{расч} = l = 40$  м.

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{np}} = \frac{0,0283 \cdot 40}{0,64} = 1,77 \text{ мм}^2$$

Принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Принимаем к установке в сети 0,4 кВ трансформатор тока марки ТЛМ-0,66-У3 [2, табл.7.24].

Выбор трансформаторов тока на линиях 0,4 кВ, питающих секции, сведем в таблицу 5.2. Намечаем к установке трансформатор тока марки ТЛМ-0,66-У3.

Таблица 5.2 - Выбор трансформатора тока

Расчетные данные	Каталожные данные ТЛМ-0,66-У3
$U_{уст} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{max} = 591 \text{ А}$	$I_{ном} = 800 \text{ А}$
$i_y = 15,41 \text{ кА}$	$i_{дин} = 125 \text{ кА}$
$B_k = 41,36 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 33^2 \cdot 3 = 3267 \text{ кА}^2\text{с}$
$r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Таким образом, трансформатор прошёл проверки. Устанавливаем трансформаторы тока марки ТЛМ-0,66-У3.

## **6 Схема измерений и учёта электрической энергии в сети**

Вопросы рационального, экономного расходования электроэнергии занимают важнейшую роль на промышленном предприятии. Одним из главных условий решения этих вопросов является организация доступной и качественной системы учета электроэнергии.

Учёт расхода электроэнергии на промышленных предприятиях проводят в следующих целях:

1. Расчёт за электроэнергию с электроснабжающей организацией;
2. Контроль расхода активной электроэнергии в отдельных цехах, на энергоемких агрегатах, технологических линиях и других объектах;
3. Определение количества реактивной мощности, полученной потребителем от электроснабжающей организации или переданной ей ,в случаях, когда по этим данным производят расчёты или контроль соблюдения заданного режима работы компенсирующих устройств предприятия;
4. Составление электробалансов по предприятию в целом, а также по наиболее энергоёмким агрегатам, цехам и группам потребителей ,что даёт возможность на их основе производить анализ эффективности использования электроэнергии в производственном процессе, выявлять непроизводительные расходы и потери электроэнергии, разрабатывать и осуществлять мероприятия по их снижению и устранению;
5. Расчёт с потребителями (субабонентами), получающими электроэнергию через подстанции предприятия.

Учёт полученной потребителем электроэнергии для денежного расчёта за нее называют расчётным учётом электроэнергии. Счетчики, предназначенные для расчётного учёта, называют расчётными счетчиками, их устанавливают как правило на границе балансовой принадлежности электросети электроснабжающей организации и потребителя.

В системе общего учёта расхода электроэнергии на промышленном предприятии важное место занимает технический учёт, то есть контроль



расхода электроэнергии по цехам, энергоёмким агрегатам и линиям. Счетчики, устанавливаемые для технического учёта, называются счётчиками технического учёта. Технический учёт позволяет осуществлять контроль за соблюдением режимов электропотребления и является основой для составления электробалансов на промышленном предприятии. Наличие такого учёта позволяет определить удельный расход электроэнергии на различные виды выпускаемой продукции.

Расчётные счётчики находятся на балансе и в эксплуатации энергоснабжающей организации, а технические - на балансе и в эксплуатации промышленных предприятий и их суботонентов.

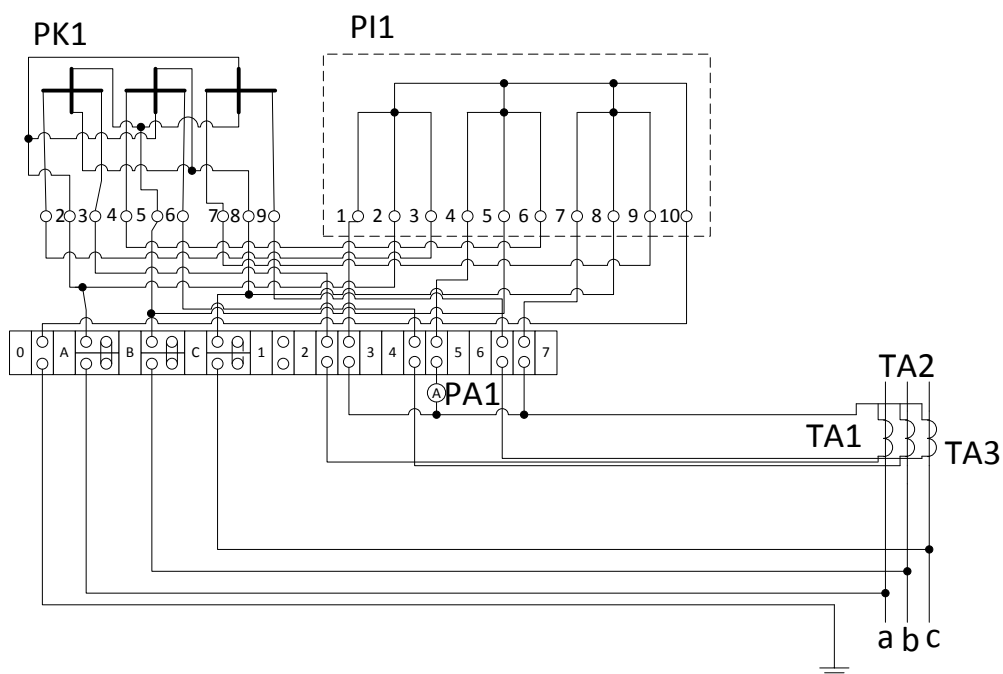


Рисунок 6.1 - Схема учета электроэнергии

## **7 Расчет цеховой сети**

Электроснабжение цеха выполняется в следующей последовательности:

1. Приемники цеха распределяются по пунктам питания (силовым распределительным шкафам и пунктам), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). Принятая схема питающей сети должна обеспечивать требуемую степень надежности питания приемников и требуемую по технологическим условиям гибкость и универсальность сети в отношении присоединения новых приемников и перемещения приемников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учетом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки.

2. Определяются расчетные электрические нагрузки по пунктам питания цеха.

3. Производится выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения.

4. Производится выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты управления цеха.

5. Производится расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потере напряжения. Производятся построения эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ОРУ-6 кВ до зажимов одного наиболее удаленного от цеховой ТП или наиболее мощного электроприемника для режимов максимальной и минимальной нагрузок, а в случае двухтрансформаторной подстанции и послеаварийного.

### **7.1 Расчет цеховой электросети напряжением до 1000 В**

В этом разделе производятся определение расчетной нагрузки цеха монтажно-заготовительного участка, рассматривается каждый распределительный шкаф с присоединенными к нему приемниками. Для каждого распределительного пункта приемники делятся на две группы.

- Группа А (с переменным графиком нагрузки,  $K_n < 0,6$ );
- Группа Б (с постоянным графиком нагрузки,  $K_n \geq 0,6$ ;  $K_z \geq 0,9$ ;  $K_B = 1$ ).



В качестве примера приведем определение расчетных нагрузок распределительного пункта ПР-2.

Среди ЭП, подключенных к ПР-2, выделим электроприемники с переменным графиком нагрузки. К таким относятся станки разные, в количестве 2 штук, кран балка - 1 штука, сварочный агрегат – 1 штука. Определим суммарную номинальную мощность электроприемников группы А

$$\sum P_{\text{ном}} = P_{\text{н.ст}} + P_{\text{н.св.}} + P_{\text{н.кр}} = (7+4,6)+28+8,5=48,1 \text{ (кВт)},$$

где  $P_{\text{н.ст}} = 11,6 \text{ кВт}$  – номинальная мощность станков разных [см. табл.2.2.],

$P_{\text{н.св.}}=28 \text{ кВт}$  – номинальная мощность сварочного агрегата [см. табл.2.2.],

$P_{\text{н.кр.}}=8,5 \text{ кВт}$  – номинальная мощность кран-балки [см. табл.2.2.].

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для группы А определяется по формуле

$$\sum P_{\text{см}} = P_{\text{см.ст}} + P_{\text{см.св}} + P_{\text{см.кр.}} = K_{\text{и.ст}} \cdot P_{\text{ном.ст}} + K_{\text{и.св}} \cdot P_{\text{ном.св}} + K_{\text{и.кр}} \cdot P_{\text{ном.кр}} = 0,14 \cdot 11,6 + 0,35 \cdot 28 + 0,06 \cdot 8,5 = 11,934 \text{ (кВт)},$$

где  $K_{\text{и.ст}} = 0,14$  – коэффициент использования активной мощности для группы станков [см. табл.2.4.],

$K_{\text{и.св.}} = 0,35$  – коэффициент использования активной мощности для сварочного агрегата [см. табл.2.4.],

$K_{\text{и.кр.}} = 0,06$  – коэффициент использования активной мощности для кран-балки [см. табл.2.4.].

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для группы А определяется по формуле:

$$\sum Q_{\text{см}} = P_{\text{см.ст}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ст}} + P_{\text{см.св}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{св}} + P_{\text{см.кр}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{кр}} = 1,624 \cdot 1,33 + 9,8 \cdot 1,33 + 0,51 \cdot 1,33 = 15,872 \text{ (кВ Ар)},$$

где  $\text{tg} \varphi$  - принимается по соответствующему значению коэффициента мощности [см. табл.1.4.].

Полученные результаты заносим в таблицу 7.2.

Средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_{и\text{ ср}} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}} = \frac{11,934}{48,1} = 0,248,$$

где  $\sum P_{см}$  – суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену группы А, кВт [табл.7.2, строка №18, столбец №8];

$\sum P_{ном}$  – суммарная установленная мощность группы А, кВт [табл.7.2, строка №18, столбец №4].

Для приемников группы А определим эффективное число электроприемников  $n_э$ , которое необходимо для вычисления коэффициента максимума.

$$\text{При } m = \frac{P_{ном.макс.}}{P_{ном.мин.}} < 3, \quad n_э \text{ может быть принято равным числу ЭП в группе,}$$

т.е.  $n_э = n = 4$ .

Коэффициент максимума активной мощности  $K_m$  определяется с помощью [2, табл.1.8.]. При  $K_{и.ср} = 0,248$  и  $n_э = 4$  коэффициент максимума равен  $K_m = 2,39$ .

Для определения расчетной активной  $P_m$  и реактивной  $Q_m$  мощности группы электроприемников с переменным графиком нагрузки, используем данные таблицы 2.2 для группы А распределительного пункта ПР-2

$$P_m = K_m \cdot P_{см} = 2,39 \cdot 11,934 = 28,52 \text{ (кВт)};$$

$$Q_m = 1,1 \cdot Q_{см} = 1,1 \cdot 15,782 = 17,36, (\text{кВар}), \text{ при } n_э < 10.$$

Полученные результаты заносим в таблицу 2.2.

Расчеты для электроприемников группы Б аналогичны.

Для электроприемников группы Б с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная и реактивная мощность принимается равной средней за наиболее загруженную смену

$$P_m = P_{см}, (\text{кВт}).$$

Например, для прессов расчетные активная и реактивная нагрузки определяются следующим образом [см. табл.7.2.]

$$P_m = P_{см} = 18,525 \text{ (кВт)} \text{ [табл.7.2, строка №20, столбец №8];}$$

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{см}} = 13,894 \text{ (кВАр)} \text{ [табл.7.2, строка №20, столбец №9]}.$$

После определения  $P_{\text{м}}$  и  $Q_{\text{м}}$  можно подсчитать полную максимальную мощность по всем ЭП, присоединенных к ПР-3 по выражению

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2} = \sqrt{47,045^2 + 31,254^2} = 56,48 \text{ (кВА)}.$$

$$\text{где } P_{\text{м}} = P_{\text{м.зрА}} + P_{\text{м.зрБ}} = 28,52 + 18,525 = 47,045 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{м.зрА}} + Q_{\text{м.зрБ}} = 17,36 + 13,894 = 31,254 \text{ (кВАр)}.$$

Определим расчетный ток на вводе распределительного пункта ПР-2

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{м}}}{U_{\text{ном}} \sqrt{3}} = \frac{56,48}{0,38 \sqrt{3}} = 85,813 \text{ (А)},$$

где  $S_{\text{м}}$  - полная максимальная мощность пункта;

$U_{\text{ном}} = 0,38 \text{ (кВ)}$  - номинальное напряжение распределительного пункта.

Рассчитанные по приведенным выше формулам данные сведем в таблицу

7.2.

Таблица 7.2 - Определение расчётных нагрузок по пунктам питания монтажно-заготовительного цеха.

№ п/ п	Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Коли- чество ЭП n	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=Р <sub>н.макс</sub> / Р <sub>н.мин.</sub>	Коэффициент использования К <sub>и</sub>	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число Электроприёмников пэф	Коэффициент максимума К <sub>м</sub>	Расчётная нагрузка			Расчётный ток I <sub>p</sub> , А
			Одного ЭП (наименьше- го, наибольшего) Р <sub>н</sub> , кВт	Общая Р <sub>н</sub> , кВт				Р <sub>см</sub> =К <sub>и</sub> •Р <sub>н</sub> кВт	Q <sub>см</sub> =Р <sub>см</sub> •tgφ <sub>см</sub> кВар			Р <sub>р</sub> =К <sub>м</sub> •Р <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> =Q <sub>см</sub> при пэ>10	Q <sub>р</sub> =1,1•Q <sub>см</sub> при пэ≤10	Sp=√P <sub>р</sub> I +Q <sub>р</sub> I кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<b>Пункт распределительный ПР-1 типа ПР11-73506</b>														
2	Группа А														
3	Станки разные №6,12,13,15,16	5	4-7,6	30,6		0,14	0,6/1,33	4,3	5,7						
4	Кран-балка №8, ПВ=40%	1	5,38	5,38		0,06	0,45/1,9 8	0,51	0,68						
5	Сварочный агрегат №10, ПВ=60%	1	25,5	25,5		0,35	0,5/1,73	9,8	13,04						
6	Сварочный трансформатор ПВ=40% №11	1	14	14		0,35	0,5/1,73	4,9	6,52						
7	<b>Итого по группе А</b>	<b>8</b>	<b>4-28</b>	<b>81,1</b>				<b>19,5</b>	<b>25,93</b>		<b>1,83</b>	<b>35,68</b>	<b>28,5</b>	<b>45,7</b>	<b>69,4</b>
8	<b>Итого по ПР-1</b>	<b>8</b>	<b>4-28</b>	<b>81,1</b>				<b>19,5</b>	<b>25,93</b>		<b>1,83</b>	<b>35,68</b>	<b>28,5</b>	<b>45,7</b>	<b>69,4</b>
9	<b>Пункт распределительный ПР-2 типа ПР11-3068</b>														
10	Группа А														
11	Станки разные №5,14	2	4,6-7	11,6		0,14	0,6/1,33	1,624	2,16						
12	Кран-балка №7, ПВ=40%	1	5,38	5,38		0,06	0,45/1,9 8	0,51	0,68						
13	Сварочный агрегат №9, ПВ=60%	1	25,5	25,5		0,35	0,5/1,73	9,8	13,04						
14	<b>Итого по группе А</b>	<b>4</b>	<b>4,6-28</b>	<b>48,1</b>				<b>11,94</b>	<b>15,88</b>		<b>2,39</b>	<b>28,52</b>	<b>17,36</b>		
15	Группа Б														
16	Прессы №1,2,3,4	4	4,5-15	28,5		0,65	0,8/0,75	18,53	13,9						

Продолжение таблицы 2.2

№ п/ п	Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Кол и- чест во ЭП n	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=P <sub>н. макс</sub> / P <sub>н. мин.</sub>	Коэффициент использования К <sub>и</sub>	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число Электроприёмников пэф	Коэффициент максимума К <sub>м</sub>	Расчётная нагрузка			Расчётный ток I <sub>p</sub> , А
			Одного ЭП (наимень шего, наибольш его) P <sub>н</sub> , КВт	Общая P <sub>н</sub> , КВт				P <sub>см</sub> =K <sub>и</sub> •P <sub>н</sub> КВт	Q <sub>см</sub> =P <sub>см</sub> •tgφ <sub>см</sub> КВар			P <sub>p</sub> =K <sub>м</sub> •P <sub>см</sub> , КВт	пэ>10 Q <sub>p</sub> =1,1•Q <sub>см</sub> при пэ≤10	S <sub>p</sub> =√P <sub>p</sub> I + Q <sub>p</sub> I КВА	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17	<b>Итого по группе Б</b>	<b>4</b>	<b>4,5-15</b>	<b>28,5</b>				<b>18,53</b>	<b>13,9</b>		<b>1</b>	<b>18,53</b>	<b>13,9</b>		
18	<b>Итого по ШР-2</b>	<b>8</b>	<b>4,5-28</b>	<b>76,6</b>				<b>30,46</b>	<b>29,77</b>			<b>47,05</b>	<b>31,3</b>	<b>56,48</b>	<b>85,8</b>
19	<b>Пункт распределительный ПР-3 типа ПР11-3068</b>														
20	Группа А														
21	Станки разные №17,18,19,20,21,22,23, 24	8	4-10	55,6		0,14	0,6/1,3 3	7,8	10,4		2,31	17,98	11,39	21,3	32,34
22	<b>Итого по группе А</b>	<b>8</b>	<b>4-10</b>	<b>55,6</b>		<b>0,14</b>	<b>0,6/1,3 3</b>	<b>7,8</b>	<b>10,4</b>		<b>2,31</b>	<b>17,98</b>	<b>11,39</b>	<b>21,3</b>	<b>32,34</b>
23	<b>Итого по ШР-3</b>	<b>8</b>	<b>4-10</b>	<b>55,6</b>		<b>0,14</b>	<b>0,6/1,3 3</b>	<b>7,8</b>	<b>10,4</b>		<b>2,31</b>	<b>17,98</b>	<b>11,39</b>	<b>21,3</b>	<b>32,34</b>



## 7.2 Выбор аппаратов защиты электроприемников

Все электрические сети должны иметь защиту от токов КЗ по возможности с наименьшим временем отключения и обеспечением селективности последовательно включенных аппаратов защиты. Защита при этом должна обеспечивать отключение аварийной линии при КЗ на любом её участке, включая и КЗ в конце линии.

Обязательная защита от перегрузки согласно ПУЭ требуется для:

1. Сетей внутри помещений, выполненных открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;
2. Осветительных сетей в жилых или общественных зданиях, в торговых помещениях, промышленных предприятиях, а так же в пожароопасных зонах;
3. Силовых сетей на предприятиях, в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях – только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка;
4. Проводников силовых, осветительных и вторичных цепей в сетях до 1 кВ во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II, В-IIa.

Аппаратами защиты в сетях до 1 кВ обычно служат предохранители и автоматические выключатели.

Номинальные токи электроприемников

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \phi \cdot \eta},$$

где  $\eta = 0,9$  – принимаем для всех электроприемников.

Пусковые токи электроприемников

$$I_{пуск} = k \cdot I_{ном},$$

где  $k = 5$  – кратность пускового тока, принимается для всех электроприемников с асинхронным приводом.

Выбор автоматических выключателей необходим для обеспечения автоматического отключения при ненормальных режимах в сети.

Выбор производится по трем условиям:

$$1. I_{\text{ном расц}} \geq I_{\text{ном эп}},$$

где  $I_{\text{ном расц}}$  – номинальный ток расцепителя автомата;

$I_{\text{ном эп}}$  – номинальный ток электроприемника.

2. Для того, чтобы электроприемник или участок сети не отключался при пуске или кратковременных перегрузках, выключатель выбирается с учетом кратковременных перегрузок в нормальном или послеаварийном режимах:

$$I_{\text{к.з.}} \geq I_{\text{пуск}} \cdot 1,25 (t_{\text{перегр}} \geq t_{\text{пуск}}).$$

3. Уставки по времени должны быть проверены на селективность действия последовательно включенных аппаратов защиты, чтобы при каждом нарушении нормального режима отключался только поврежденный участок, но не срабатывали аппараты в высших звеньях сети.

### **Пример выбора автоматического выключателя для распределительного пункта ПР-2**

Расчетный ток защищаемой линии ТП1 – ПР2.

$$I_{\text{м}} = I_{\text{р.ПР-2}} = 85,8 \text{ А.}$$

где  $I_{\text{р.ПР-1}} = 85,8 \text{ А}$  – расчетный ток ПР-2 [см. табл.7.2.]

Предварительно принимаем автоматический выключатель ВА51-31, у которого  $I_{\text{ном.авт.}} = 100 \text{ А}$ ;  $I_{\text{ном.расц}} = 100 \text{ А}$ ;

$$I_{\text{кз}} \geq 1,25 I_{\text{тик}} = 1,25 (I_{\text{пуск.наиб.}} + (\sum I_{\text{р}} - k_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном.наиб.}})) = 1,25 (212,5 + (85,8 - 0,35 \cdot 42,5)) = 354,3 \text{ А}$$

Используя справочную литературу [8, П.4.7.] выбираем автоматический

выключатель типа ВА51-31, у которого  $I_{\text{н.расц}} = 100 \text{ А}$ ,

$$I_{\text{кз}} = 4 \cdot I_{\text{н.расц.}} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ А}$$

Вводные выключатели к ПР приведены в таблице 7.5.

### **Пример выбора автоматического выключателя для прессы листогибочного**

Пресс листогибочный с номинальной мощностью  $P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$ .

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 31,7 \text{ А};$$

Предварительно принимаем автоматический выключатель ВА51-26, у которого  $I_{\text{ном.авт.}} = 32 \text{ А}$ ;  $I_{\text{ном.расц}} = 32 \text{ А}$ ;

$$I_{\text{н расц}} = 32 \geq I_{\text{ном}} = 31,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}} = 5 \cdot 31,7 = 158,5 \text{ А},$$

$$I_{\text{кз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пуск}},$$

$$I_{\text{кз}} = 7 \cdot I_{\text{ном.расц}} = 7 \cdot 32 = 224 \text{ А};$$

$$I_{\text{кз}} = 224, \text{ А} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 158,5 \text{ А}.$$

Используя справочную литературу [6, Прил.П.4.8.] выбираем автоматический выключатель типа ВА51-26, у которого  $I_{\text{ном.расц.}} = 32 \text{ А}$ ,  
 $I_{\text{кз}} = 7 \cdot I_{\text{н.расц.}} = 7 \cdot 32 = 224 \text{ А}.$

Автоматические выключатели к ЭП приведены в таблице 7.4.

**Выбор сечений ответвлений к ЭП производится по длительному току ЭП по формулам**

$$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{доп}} ;$$

$$\text{где } I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном.эл}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \phi \cdot \eta} .$$

Пример для пресса листогибочного с номинальной мощностью  $P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$ .

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \phi \cdot \eta} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 31,7 \text{ А};$$

Используя справочную литературу [2,табл.3.8.] выбираем кабель марки АВВГ - (4х6) с  $I_{\text{доп}} = 39 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 31,7 \text{ А}$ .

Условие согласования сечения проводника с аппаратом защиты этого проводника

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{K_z I_z}{K_{\text{пр}}},$$

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимый длительный ток проводника, А;

$K_z$  – коэффициент защиты, принимаем согласно [2];

$I_z$  – номинальный ток уставки выключателя, А;

$K_{np} = 1$  – коэффициент прокладки проводника, принимаем согласно [2, табл.3.13,] при способе прокладки кабеля – по стенам на скобах.

Пример согласования ответвления и защитного аппарата к ДИГУ:

$$39 \geq \frac{1 \cdot 32}{1,0} = 32 A$$

Условие соблюдается, значит примем сечение кабеля до  $6 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 39 A$ , которое удовлетворяет всем условиям проверки и согласования.

Результаты расчётов сведены в таблицу 8.4.

### **7.3 Выбор сечений питающей сети цеха**

Выбор осуществляем по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверяем их по потерям напряжения.

Условие выбора проводников:

$$I_p \leq I_{\text{доп}},$$

где  $I_p$  - расчетный ток,  $I_{\text{доп}}$  - допустимый длительный ток

#### ***Пример расчета для линии ТП – ПР2***

$$I_p = I_{\text{ол}} = 85,8 A;$$

Используя справочную литературу [2, табл.3.8.] выбираем четырехжильный кабель марки АВВГ-(4х25), у которого  $I_p = 85,8 \leq I_{\text{доп}} = 105 A$ .

Проверка выбранного сечения проводника по допустимой потере напряжения выполняется из условия

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_{\text{доп}} \cdot l \leq \Delta U_{\text{доп}\%} = 5\%,$$

где  $\Delta U_{p\%}$  - расчетные потери напряжения;

$\Delta U_0$  - потери напряжения.

$l$  – длина линии;

$\Delta U_{\text{доп}\%} = 5\%$  - допустимая потеря напряжения.

Проверяем выбранное сечение по условиям допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_{доп} \cdot l = 0,048 \cdot 105 \cdot 0,015 = 0,5\% < \Delta U_{доп\%} = 5\% ;$$

$$\text{где } \Delta U_0 = 0,048 \frac{\%}{A \cdot км} \text{ при } \cos \varphi = \frac{P_{\mathcal{M}}}{S_{\mathcal{M}}} = \frac{804}{993,12} = 0,81 \text{ [2, табл.5.3.]}$$

Результаты расчётов сведены в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 - Выбор сечений линий питающей сети

Наименование участка линии	Sp, кВА	l, км	Ip, А	Способ прокладки	Кп	Марка кабеля	Сечение кабеля (провода)	Iдоп, А	cosφ	ΔUo, % на 1 км	ΔUp, %
РУ1-ПР1	21,3	0,015	69,4	По стене на скобах	1	АВВГ	(4х25)	105	0,81	0,48	0,5
РУ1-ПР2	56,48	0,045	85,8		1	АВВГ	(4х25)	105	0,78	0,471	1,81
РУ1-ПР3	45,7	0,020	32,34		1	АВВГ	(4х10)	55	0,6	0,887	0,574

где  $\Delta U_p\% = \Delta U_o \cdot I_p \cdot L$ , где  $\Delta U_o$  – справочная величина [2, табл.5.3.]. Выбор производится из условия:  $I_p \leq I_{доп}$ .

Таблица 7.5 - Выбор вводных выключателей для распределительных пунктов

№ на плане цеха	Пункт		Ответвление к ПР			Защитный аппарат ПР			
	Тип пункта	I <sub>p</sub> , А	Марка и сечение, S <sub>i</sub> , мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина, км	Тип	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>ном.расц.</sub> , А	I <sub>уст.кз.</sub> / I <sub>ном.расц.</sub>
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
ПР-1	ПР11-7122	69,4	АВВГ-6(4х120)	По стенам на скобах	0,009	ВА51-31	80	80	4
ПР-2	ПР11-3068	85,8	АВВГ- (4х10)		0,021	ВА51-31	100	100	4
ПР-3	ПР11-3068	32,34	АВВГ- (4х16)		0,04	ВА13-29	63	40	3

Таблица 7.4 - Выбор распределительной сети и аппаратов защиты для ЭП

№ на генплане	Приемник			Ответвление к электроприемнику		Защитный аппарат			
	Наименование электроприемника	$P_{ном}, кВт$	$I_p, А$	Марка и сечение, $S_i, мм^2$	Способ прокладки	Длина, м	Тип	$I_{расц}, А$	$I_{уст.кз} / I_{ном.расц.}$
1	Пресс-ножницы	4,5	9,5	АВВГ - (4х4)	По стенам на скобах	12	АЕ2040	10	6
2	Пресс-ножницы	4,5	9,5	АВВГ - (4х4)		5	АЕ2040	10	6
3	Пресс-ножницы	4,5	9,5	АВВГ - (4х4)		5	АЕ2040	10	6
4	Пресс листогибочный	15	31,7	АВВГ - (4х10)		15	АЕ2040	40	6
5	Токарно-винторезный станок	4,6	12,94	АВВГ - (4х4)		22	АЕ2040	16	6
6	Трубогибочный станок	7	19,7	АВВГ - (4х4)		10	АЕ2040	25	6
7	Кран-балка, ПВ=40%	5,38	20,18	АВВГ - (4х4)		35	АЕ2040	25	6
8	Кран-балка, ПВ=40%	5,38	20,18	АВВГ - (4х4)		30	АЕ2040	25	6
9	Сварочный агрегат, ПВ=50%	19,8	66,85	АВВГ - (4х16)		10	АЕ2050	80	6
10	Сварочный агрегат, ПВ=50%	19,8	66,85	АВВГ - (4х16)		10	АЕ2050	80	6
11	Трансформатор сварочный, ПВ=40%	8,85	37,35	АВВГ - (4х6)		13	АЕ2040	40	6
12	Шлифовальный станок	7,6	21,4	АВВГ - (4х4)		8	АЕ2040	25	6
13	Сверлильный станок	7	19,7	АВВГ - (4х4)		10	АЕ2040	25	6
14	Сверлильный станок	7	19,7	АВВГ - (4х4)		20	АЕ2040	25	6
15	Отрезной станок	4	11,3	АВВГ - (4х4)		10	АЕ2040	10	6
16	Долбежный станок	5	14,07	АВВГ - (4х4)		12	АЕ2040	25	6
17	Фрезеровочный станок	10	28,13	АВВГ - (4х6)		18	АЕ2040	40	6
18	Сверлильный станок	7	19,7	АВВГ - (4х4)		15	АЕ2040	25	6
19	Долбежный станок	5	14,07	АВВГ - (4х4)		12	АЕ2040	25	6
20	Отрезной станок	4	11,3	АВВГ - (4х4)		9	АЕ2040	10	6
21	Шлифовальный станок	7,6	21,4	АВВГ - (4х4)		10	АЕ2040	25	6
22	Трубогибочный станок	7	19,7	АВВГ - (4х4)		12	АЕ2040	25	6
23	Сверлильный станок	7	19,7	АВВГ - (4х4)		15	АЕ2040	25	6
24	Внутришлифовальный станок	8	22,51	АВВГ - (4х4)		11	АЕ2040	25	6

## 7.4 Построение эпюр отклонения напряжений

Расчет питающей и распределительной сети по условию допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонения напряжения выполняется для цепочки линий от КТП 10 кВ до зажимов одного наиболее мощного электроприемника для режима максимальных и минимальных нагрузок, а в случае двухтрансформаторной подстанции и послеаварийного.

Отклонение напряжения

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_{ij}R_{ij} + Q_{ij}X_{ij}}{10U_i^2};$$

где  $\Delta U_{ij}$  – отклонение напряжения на соответствующем участке сети, %;

$P_{ij}$  – поток активной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВт;

$Q_{ij}$  – поток реактивной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВар;

$R_{ij} = r_{oij} \cdot l_{ij}$  – активное сопротивление линии соответствующего участка сети, мОм, здесь  $r_{oij}$  – удельное активное сопротивление линии соответствующего участка сети, Ом/км, принимаемое, согласно справочной литературе [5, табл.3.29.],  $l_{ij}$  – длина линии соответствующего участка сети, км;

$U_i$  – напряжение в начале соответствующего участка сети, кВ;

Отклонение напряжения на трансформаторе, %:

$$\Delta U_m = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$\beta_m = \frac{S_p}{S_{н.тр.}}$  – фактический коэффициент загрузки трансформатора, здесь  $S_p$  –

поток мощности, передаваемый через трансформатор, кВА,

$S_{н.тр.}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}}$  – активная составляющая напряжения короткого

замыкания цехового трансформатора, %, здесь  $\Delta P_{кз}$  – потери активной мощности при КЗ, кВт, принимаем согласно [5, табл.5.13];



$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2}$  – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, %, здесь  $U_k$  – напряжение короткого замыкания, %, принимаем согласно справочной литературе [5, табл.5.13];

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P - \Delta P_m}{\sqrt{(P - \Delta P_m)^2 + (Q - \Delta Q_m)^2}} - \text{коэффициент мощности для}$$

вторичной нагрузки трансформатора, здесь  $P$  – поток активной мощности, передаваемой через цеховой трансформатор, кВт,  $Q$  – поток реактивной мощности, передаваемой через трансформатор, кВАр,

$\Delta P_m = 0,02S$  – потери активной мощности в трансформаторе, кВт,

$\Delta Q_m = 0,1S$  – потери реактивной мощности в трансформаторе, кВАр;

$\sin \varphi_2$  – соответствующий  $\cos \varphi_2$  синус для вторичной нагрузки трансформатора.

Для удобства расчета приведем однолинейную расчетную схему сети для участка сети от КТП 10 кВ до наиболее мощного электроприемника монтажно-заготовительного цеха (Сварочный агрегат) (рисунок 7.2).

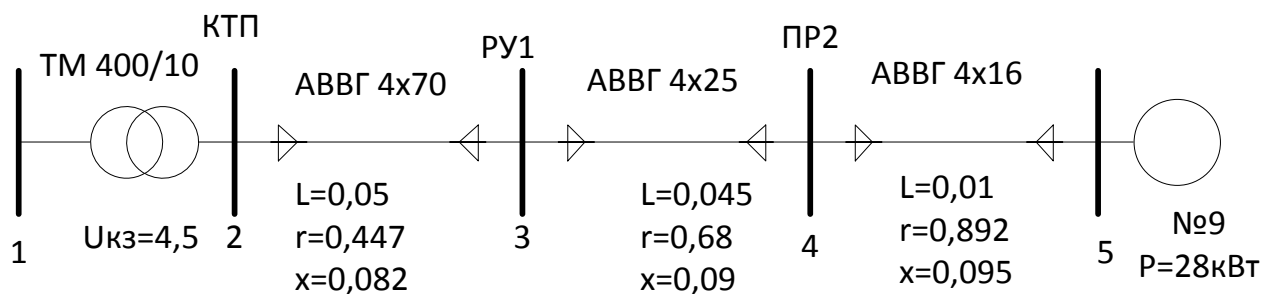


Рисунок 7.2 - Однолинейная расчетная схема сети

Расчёты для построения эпюры отклонений напряжения для максимального, послеаварийного и минимального режимов систематизируем в виде таблицы 7.6, представленной ниже.

### Расчет отклонения напряжения при максимальном режиме нагрузки

#### Участок 1-2

$$\Delta U_{34} = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{н.мп}} \cdot 100\% = \frac{5,4}{400} \cdot 100\% = 1,35 \%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,35^2} = 4,29\%$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{317,5^2 + 225^2}}{2 \cdot 400} = 0,49$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 389 = 7,8 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = 0,1 \cdot 389 = 38,9 \text{ кВАр}$$

$$P_2' = P_{12} - \Delta P_m = 317,5 - 7,8 = 309,7 \text{ Вт}$$

$$Q_2' = Q_{12} - \Delta Q_m = 225 - 38,9 = 186,1 \text{ кВАр}$$

$$S_2' = \sqrt{P_2'^2 + Q_2'^2} = \sqrt{309,7^2 + 186,1^2} = 361,3 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2'}{S_2'} = \frac{309,7}{361,3} = 0,86 \quad \sin \varphi_2 = \frac{Q_2'}{S_2'} = \frac{186,1}{361,3} = 0,52$$

$$\Delta U_{34} = 0,49(1,35 \cdot 0,86 + 4,29 \cdot 0,52) + \frac{0,49^2}{200}(1,35 \cdot 0,86 - 4,29 \cdot 0,52) = 1,66\%$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН:

$$10500 - 1,66 \frac{10500}{100} = 10325,7 \text{ В}$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_2 = 400 \frac{10325,7}{10500} = 393,4 \text{ В}$$

### Участок 2-3:

$$R_{45} = 0,447 \cdot 0,05 = 0,022 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = 0,082 \cdot 0,05 = 0,004 \text{ Ом}$$

$$P_{23} = 57,93 \text{ кВт}$$

$$Q_{23} = 65,46 \text{ кВАр}$$

где  $P_{23}$  и  $Q_{23}$  - расчетные активная и реактивная мощности РУ-2.

$$\Delta U_{45} = \frac{57,93 \cdot 0,022 + 65,46 \cdot 0,004}{10 \cdot (393,4 \cdot 10^{-3})^2} = 0,99\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 0,99 \frac{393,4}{100} = 3,9 \text{ В}$$

$$U_5 = 393,4 - 3,9 = 389,5 \text{ В}$$

### Участок 3-4:

$$R_{45} = 0,68 \cdot 0,045 = 0,031 \text{ Ом}; \quad X_{45} = 0,09 \cdot 0,045 = 0,004 \text{ Ом};$$

$$P_{34} = 30,46 \text{ кВт}$$

$$Q_{34} = 29,77 \text{ кВАр}$$

где  $P_{34}$  и  $Q_{34}$  - расчетные активная и реактивная мощности ПР-2.

$$\Delta U_{45} = \frac{30,46 \cdot 0,031 + 29,77 \cdot 0,004}{10 \cdot (389,5 \cdot 10^{-3})^2} = 1,02\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 1,02 \frac{389,5}{100} = 4 \text{ В}$$

$$U_4 = 389,5 - 4 = 385,5 \text{ В}$$

#### **Участок 4-5:**

$$R_{56} = 0,892 \cdot 0,01 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_{56} = 0,095 \cdot 0,01 = 0,00095 \text{ Ом}$$

$$P_{56} = P_{\text{ЭП}} = 19,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{56} = P_{\text{ЭП}} \cdot \tan \varphi = 19,8 \cdot 1,73 = 34,25 \text{ кВАр}$$

где  $P_{\text{ЭП}}$  и  $Q_{\text{ЭП}}$  - активная и реактивная мощности сварочного агрегата.

$$\Delta U_{56} = \frac{19,8 \cdot 0,009 + 34,25 \cdot 0,00095}{10 \cdot (385,5 \cdot 10^{-3})^2} = 0,12\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{56} = 0,12 \frac{385,5}{100} = 0,5 \text{ В}$$

$$U_6 = 385,5 - 0,5 = 385 \text{ В}$$

#### **Расчет отклонения напряжения при минимальном режиме нагрузки**

Воспользуемся характерным суточным графиком электрических нагрузок для предприятия

$$P_{\min} = 0,75 \cdot P_{\max}$$

$$Q_{\min} = 0,9 \cdot Q_{\max}$$

#### **Участок 1-2**

$$\Delta U_{34} = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{н.мп}} \cdot 100\% = \frac{5,4}{400} \cdot 100\% = 1,35 \%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,35^2} = 4,29\%$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{238,13^2 + 202,5^2}}{2 \cdot 400} = 0,39$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 389 = 7,8 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = 0,1 \cdot 389 = 38,9 \text{ кВАр}$$

$$P_2' = P_{12} - \Delta P_m = 238,13 - 7,8 = 230,33 \text{ кВт}$$

$$Q_2' = Q_{12} - \Delta Q_m = 202,5 - 38,9 = 163,6 \text{ кВАр}$$

$$S_2' = \sqrt{P_2'^2 + Q_2'^2} = \sqrt{230,33^2 + 163,6^2} = 282,52 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2'}{S_2'} = \frac{230,33}{282,52} = 0,82 \quad \sin \varphi_2 = \frac{Q_2'}{S_2'} = \frac{163,6}{282,52} = 0,58$$

$$\Delta U_{12} = 0,39(1,35 \cdot 0,82 + 4,29 \cdot 0,58) + \frac{0,39^2}{200}(1,35 \cdot 0,82 - 4,29 \cdot 0,58) = 1,4\%$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН:

$$10000 - 1,4 \frac{10000}{100} = 9860 \text{ В}$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_4 = 380 \frac{9860}{10000} = 374,7 \text{ В}$$

### Участок 2-3:

$$R_{45} = 0,447 \cdot 0,05 = 0,022 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = 0,082 \cdot 0,05 = 0,004 \text{ Ом}$$

$$P_{23} = 0,75 \cdot 57,93 = 43,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{23} = 0,9 \cdot 65,46 = 58,91 \text{ кВАр}$$

где  $P_{23}$  и  $Q_{23}$  - расчетные активная и реактивная мощности РУ-2.

$$\Delta U_{45} = \frac{43,45 \cdot 0,022 + 58,91 \cdot 0,004}{10 \cdot (374,7 \cdot 10^{-3})^2} = 0,85\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 0,85 \frac{374,7}{100} = 3,2 \text{ В}$$

$$U_5 = 374,7 - 3,2 = 371,5 \text{ В}$$

### Участок 3-4:

$$R_{45} = 0,68 \cdot 0,045 = 0,031 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = 0,09 \cdot 0,045 = 0,004 \text{ Ом}$$

$$P_{34} = 0,75 \cdot 30,46 = 22,85 \text{ кВт}$$

$$Q_{34} = 0,9 \cdot 29,77 = 26,8 \text{ кВАр}$$

где  $P_{34}$  и  $Q_{34}$  - расчетные активная и реактивная мощности ПР-2.

$$\Delta U_{45} = \frac{22,85 \cdot 0,031 + 26,8 \cdot 0,004}{10 \cdot (371,5 \cdot 10^{-3})^2} = 0,59\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 0,59 \frac{371,5}{100} = 2,2 \text{ В}$$

$$U_4 = 371,5 - 2,2 = 369,3 \text{ В}$$

#### Участок 4-5:

$$R_{56} = 0,892 \cdot 0,01 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_{56} = 0,095 \cdot 0,01 = 0,00095 \text{ Ом}$$

$$P_{56} = 0,75 P_{\text{ЭП}} = 14,85 \text{ кВт}$$

$$Q_{56} = 0,9 \cdot P_{\text{ЭП}} \cdot \tan \varphi = 30,83 \text{ кВАр}$$

где  $P_{\text{ЭП}}$  и  $Q_{\text{ЭП}}$  - активная и реактивная мощности сварочного агрегата.

$$\Delta U_{56} = \frac{14,85 \cdot 0,009 + 30,83 \cdot 0,00095}{10 \cdot (369,3 \cdot 10^{-3})^2} = 0,12\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{56} = 0,12 \frac{369,3}{100} = 0,45 \text{ В}$$

$$U_6 = 369,3 - 0,45 = 368,85 \text{ В}$$

#### Расчет отклонения напряжения в послеаварийном режиме

Отключен один из двух трансформаторов.

#### Участок 1-2

$$\Delta U_{34} = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{н.мп}} \cdot 100\% = \frac{5,4}{400} \cdot 100\% = 1,35\%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,35^2} = 4,29\%$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{317,5^2 + 225^2}}{400} = 0,97$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 389 = 7,8 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = 0,1 \cdot 389 = 38,9 \text{ кВАр}$$

$$P_2' = P_{12} - \Delta P_m = 317,5 - 7,8 = 309,7 \text{ кВт}$$

$$Q_2' = Q_{12} - \Delta Q_m = 225 - 38,9 = 186,1 \text{ кВАр}$$

$$S_2' = \sqrt{P_2' + Q_2'^2} = \sqrt{309,7^2 + 186,1^2} = 361,3 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2'}{S_2'} = \frac{309,7}{361,3} = 0,86 \quad \sin \varphi_2 = \frac{Q_2'}{S_2'} = \frac{186,1}{361,3} = 0,52$$

$$\Delta U_{34} = 0,97(1,35 \cdot 0,86 + 4,29 \cdot 0,52) + \frac{0,97^2}{200}(1,35 \cdot 0,86 - 4,29 \cdot 0,52) = 3,28\%$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН:

$$10500 - 3,28 \frac{10500}{100} = 10155,6 \text{ В}$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_2 = 400 \frac{10155,6}{10500} = 386,9 \text{ В}$$

### Участок 2-3:

$$R_{45} = 0,447 \cdot 0,05 = 0,022 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = 0,082 \cdot 0,05 = 0,004 \text{ Ом}$$

$$P_{23} = 57,93 \text{ кВт}$$

$$Q_{23} = 65,46 \text{ кВАр}$$

где  $P_{23}$  и  $Q_{23}$  - расчетные активная и реактивная мощности РУ-2.

$$\Delta U_{45} = \frac{57,93 \cdot 0,022 + 65,46 \cdot 0,004}{10 \cdot (386,9 \cdot 10^{-3})^2} = 1,03\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 1,03 \frac{386,9}{100} = 4 \text{ В}$$

$$U_5 = 386,9 - 4 = 382,9 \text{ В}$$

### Участок 3-4:

$$R_{45} = 0,68 \cdot 0,045 = 0,031 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = 0,09 \cdot 0,045 = 0,004 \text{ Ом}$$

$$P_{34} = 30,46 \text{ кВт}$$

$$Q_{34} = 29,77 \text{ кВАр}$$

где  $P_{34}$  и  $Q_{34}$  - расчетные активная и реактивная мощности ПР-2.

$$\Delta U_{45} = \frac{30,46 \cdot 0,031 + 29,77 \cdot 0,004}{10 \cdot (382,9 \cdot 10^{-3})^2} = 0,73\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 0,73 \frac{382,9}{100} = 2,8 \text{ В}$$

$$U_4 = 382,9 - 2,8 = 380,1 \text{ В}$$

#### Участок 4-5:

$$R_{56} = 0,892 \cdot 0,01 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_{56} = 0,095 \cdot 0,01 = 0,00095 \text{ Ом}$$

$$P_{56} = P_{эл} = 19,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{56} = P_{эл} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 19,8 \cdot 1,73 = 34,25 \text{ кВАр}$$

где  $P_{эл}$  и  $P_{эл}$  - активная и реактивная мощности сварочного агрегата.

$$\Delta U_{56} = \frac{19,8 \cdot 0,009 + 34,25 \cdot 0,00095}{10 \cdot (380,1 \cdot 10^{-3})^2} = 0,15\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{56} = 0,15 \frac{380,1}{100} = 0,6 \text{ В}$$

$$U_6 = 380,1 - 0,6 = 379,5 \text{ В}$$

Результаты расчетов для построения эпюры отклонений напряжения для максимального, минимального и послеаварийного режимов систематизируем в виде таблицы, представленной ниже.

Таблица 7.6 - Расчётные данные для построения эпюры отклонений напряжения

	<i>Максимальный режим</i>		<i>Минимальный режим</i>		<i>Послеаварийный режим</i>	
	$\Delta U, \%$	$\Delta U, \text{В}$	$\Delta U, \%$	$\Delta U, \text{В}$	$\Delta U, \%$	$\Delta U, \text{В}$
Участок 1-2	1,66	6,6	1,4	5,3	3,28	13,1
Участок 2-3	0,99	3,9	0,85	3,2	1,03	4
Участок 3-4	1,02	4	0,59	2,2	0,73	2,8
Участок 4-5	0,12	0,5	0,12	0,45	0,15	0,6
<b><i>Unom, В</i></b>	<b>385</b>		<b>368,85</b>		<b>379,5</b>	

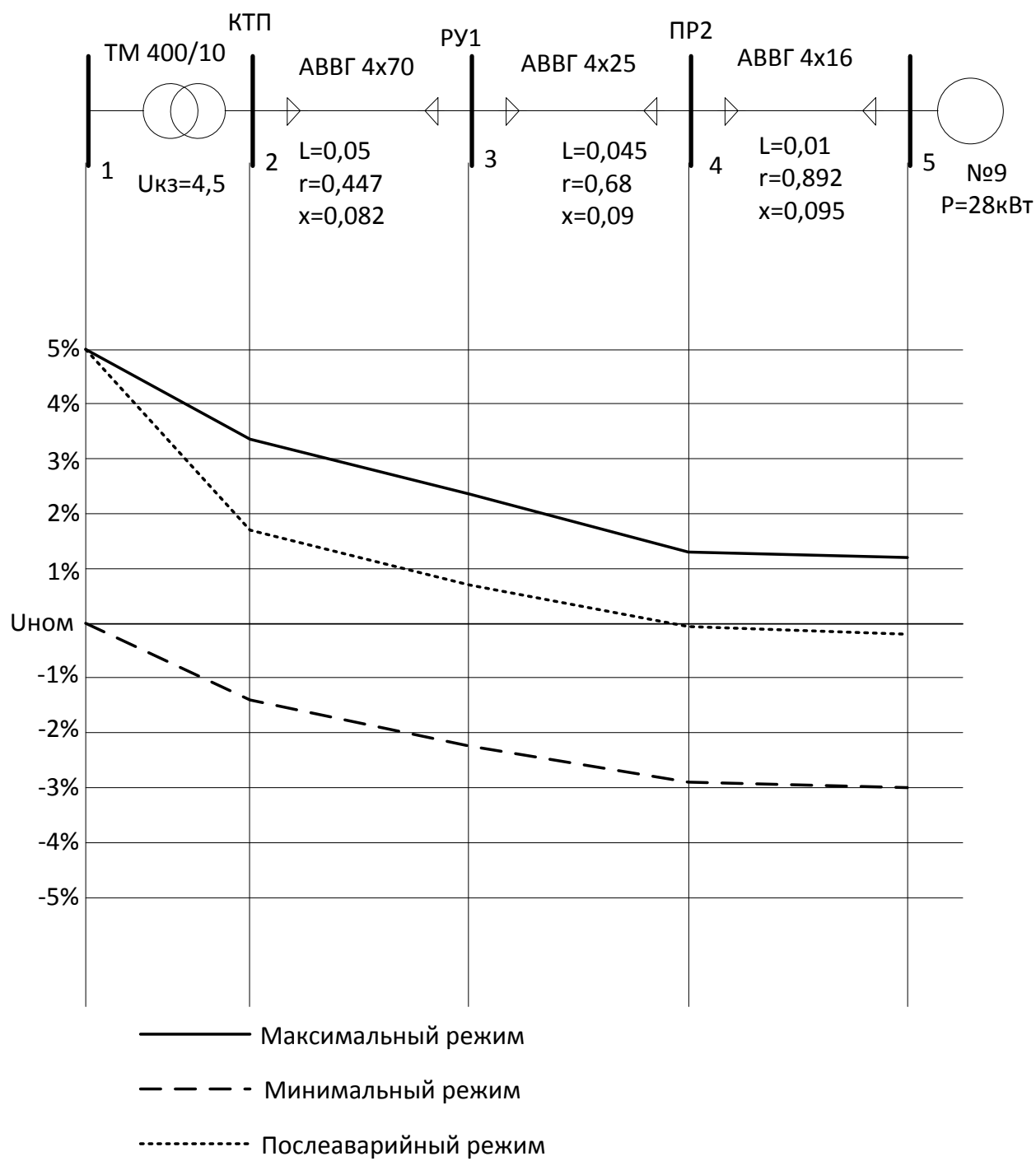


Рисунок 2.3 - Эпюры отклонений напряжения



## 8 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В и построение карты селективности

### 8.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчет токов КЗ проводим для участка цеховой сети от КТП до наиболее удаленного электроприемника монтажно-заготовительного цеха (кран-балка №7). Полученные данные наносим на карту селективности действия аппаратов защиты.

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 В имеет следующие особенности:

- принимаем мощность системы  $S_c = \infty$ , что правомерно при  $S_c \geq 50S_{н.тр.}$ , т.е. напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;
- при расчёте учитываются активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силового трансформатора, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;
- расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U_c = 400В$ .

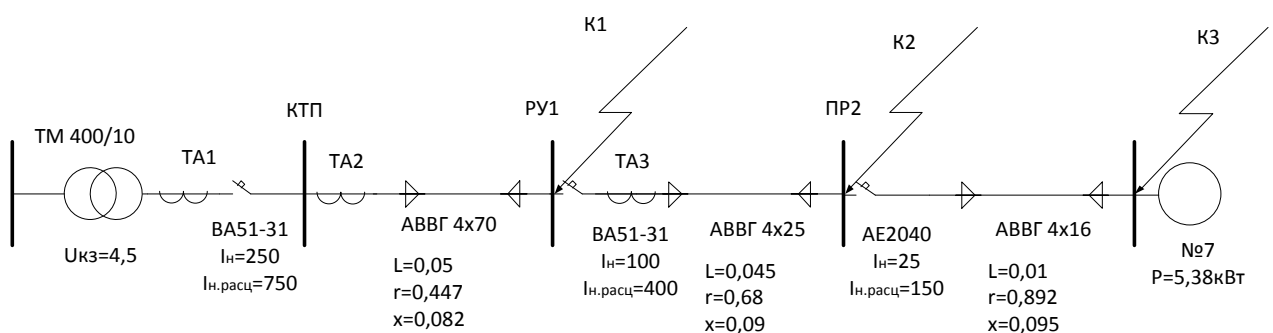


Рисунок 8.1 - Схема для расчета токов короткого замыкания в сети до 1000 В

### Расчёт токов КЗ для точки К1

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U^2}{S_{н.тр}^2} = \frac{5,4 \cdot 400^2}{400^2} = 5,4 \text{ мОм} - \text{активное сопротивление трансформатора.}$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} = \frac{5,4 \cdot 100\%}{400} = 1,35 \% - \text{активная составляющая напряжения КЗ;}$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,35^2} = 4,29 \% - \text{реактивная составляющая напряжения КЗ;}$$

$$X_m = \frac{U_p \%}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{н.тр.}} = \frac{4,29}{100} \cdot \frac{400^2}{400} = 17,2 \text{ мОм} - \text{активное сопротивление трансформатора;}$$

$$Z_{\Sigma к1} = \sqrt{R_m^2 + X_m^2} = \sqrt{5,4^2 + 17,2^2} = 18,03 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивление автомата и трансформатора тока не учитываются.

$$I_{к1} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma к1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 18,03} = 12,81 \text{ кА};$$

Согласно [2, рис.6.1.] принимаем  $K_{уд1} = 1,64$ ;

$$i_{y1} = I_{к1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{уд1} = 12,81 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,64 = 29,71 \text{ кА}$$

### Расчёт токов КЗ для точки К2

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2, табл.6.16.] следующие величины:

$R_k = 0,34 \text{ мОм}$  – активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$X_k = 0,42 \text{ мОм}$  – реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$R_{пер} = 0,55 \text{ мОм}$  – переходное сопротивление контактов.

Для трансформатора тока, согласно [2, табл.6.15.] при коэффициенте трансформации  $K_t = 100/5$  принимаем следующие величины:

$R_{mt} = 2,7 \text{ мОм}$  – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока;

$X_{mm} = 1,7 \text{ мОм}$  – реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока.

Для кабеля *АВВГ* - (3×70) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 0,447 \cdot 0,05 = 0,022 \text{ мОм}$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,082 \cdot 0,05 = 0,004 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{(R_m + R_k + R_{пер} + R_{mm} + R_{каб})^2 + (X_m + X_k + X_{mm} + X_{каб})^2} = \\ = \sqrt{(0,52 + 0,34 + 0,55 + 2,7 + 0,022)^2 + (3,8 + 0,42 + 1,7 + 0,004)^2} = 7,22 \text{ мОм}$$

$$I_{K2} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7,22} = 31,99 \text{ кА}$$

Согласно [2, рис.6.1.] принимаем  $K_{y\partial 2} = 1,1$ ;

$$i_{y2} = I_{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 2} = 31,99 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 49,76 \text{ кА}$$

### Расчёт токов КЗ для точки КЗ

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2, табл.6.16.] следующие величины:

$R_k = 3,49 \text{ мОм}$  – активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$X_k = 2,88 \text{ мОм}$  – реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$R_{пер} = 1,1 \text{ мОм}$  – переходное сопротивление контактов.

Для кабеля *АВВГ* - (4×4) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 7,81 \cdot 0,035 = 0,27 \text{ мОм}$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,107 \cdot 0,035 = 0,004 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{(R_{K2} + R_k + R_{пер} + R_{каб})^2 + (X_{K2} + X_k + X_{каб})^2} = \\ = \sqrt{(4,14 + 3,49 + 1,1 + 0,27)^2 + (5,93 + 2,88 + 0,004)^2} = 12,6 \text{ мОм}$$

$$I_{K2} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 12,6} = 18,33 \text{ кА}$$

Согласно [2, рис.6.1.] принимаем  $K_{y\partial 2} = 1,05$ ;

$$i_{y2} = I_{\kappa 2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 2} = 18,33 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,05 = 27,22 \text{ кА}$$

## 8.2 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети

Карту селективности строим для участка цеховой сети от вводного автомата на подстанции ТП-5 до самого удаленного электроприемника (внутришлифовального станка №36).

Данные для построения карты селективности представлены в таблице 8.1 и таблице 8.2.

Таблица 8.1 Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА51-31	250	750
ВА51-31	100	400
АЕ2050	25	150

Таблица 8.2 Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	Электроприёмник	Распределительный пункт ПР 2	КТП	Значение тока КЗ в соотв. точках, кА		
	Кран - балка			1	2	3
Расчётный ток, А		85,8	153,91	31,99	18,33	12,81
Пиковый ток, А		354,3	641,2			
Номинальный ток, А	20,26					
Пусковой ток, А	101,3					

Защитные характеристики автоматических выключателей, которые необходимо использовать для построения карты селективности действия аппаратов защиты, приведены в [6, с. 88].

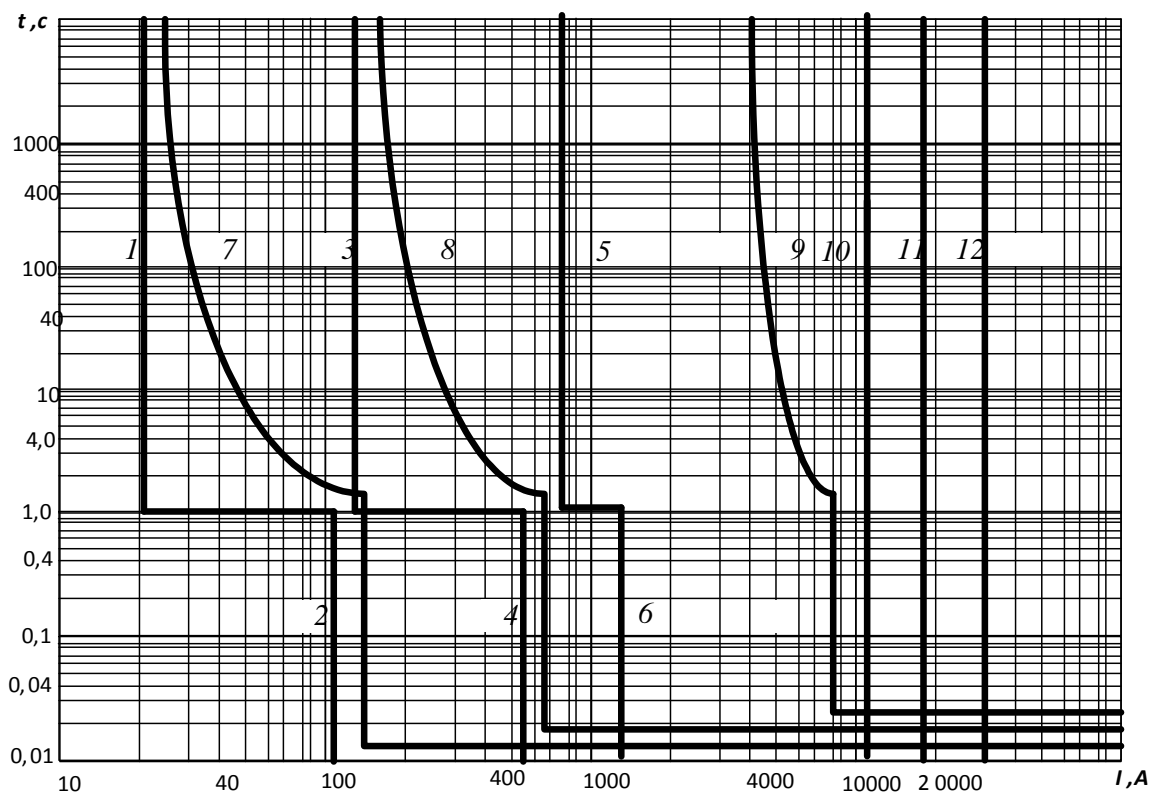


Рисунок 8.1 - Карта селективности действия аппаратов защиты

На рисунке 8.1 приняты следующие обозначения:

- 1- номинальный ток кран - балки №7;
- 2- пусковой ток кран - балки №7;
- 3- расчетный ток распределительного шкафа ПР-2;
- 4- пиковый ток распределительного шкафа ПР-2;
- 5- расчетный ток трансформаторной подстанции КТП;
- 6- пиковый ток трансформаторной подстанции КТП;
- 7- защитная характеристика автоматического выключателя АЕ2050 для защиты электроприемника;
- 8- защитная характеристика автоматического выключателя ВА51-31 для защиты распределительного пункта;
- 9- защитная характеристика вводного автомата ВА51-31 трансформатора;
- 10- ток КЗ в точке К3;
- 11- ток КЗ в точке К2;
- 12- ток КЗ в точке К1.

## **10. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **10.1 Общие сведения**

Целью данной работы является составление сметы на проектирование электроснабжения производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж» и расчет сметы затрат на электрооборудованиемонтажно-заготовительного цеха.

Капитальные вложения в электрооборудование – это в первую очередь, стоимость электрооборудования и стоимость строительно-монтажных работ.

Смета – это документ, определяющий окончательную и предельную стоимость реализации проекта. Смета служит исходным документом капитального вложения, в котором определяются затраты, необходимые для выполнения полного объема необходимых работ.

Исходными материалами для определения сметной стоимости строительства объекта служат данные проекта по составу оборудования, объему строительных и монтажных работ; прейскуранты цен на оборудование и строительные материалы; нормы и расценки на строительно-монтажные работы; тарифы на перевозку грузов; нормы накладных расходов и другие нормативные документы.

Решение о проектировании электроснабжения принимается на основе технико-экономического обоснования.

На основе утвержденного ТЭО заказчик заключает договор с проектной организацией на проектирование и выдает ей задание, которое содержит:

1. Генплан предприятия;
2. Расположение источника питания;
3. Сведения об электрических нагрузках;
4. План размещения электроприемников на корпусах;
5. Площадь корпусов и всей территории завода.

Различают две стадии проектирования:

а) Технический проект;

б) Рабочий чертеж.

Если проектируемый объект в техническом отношении не сложный, то обе стадии объединяются в одну – технорабочий проект.

## 10.2 Планирование инженерного проекта

Для того, чтобы выполнить расчет затрат на проектирование электроснабжения объекта в срок при наименьших затратах средств, составляется план-график, в котором рассчитывается поэтапная трудоемкость всех работ. После определения трудоемкости всех этапов темы, назначается число участников работы по этапам (таблица 1).

Таблица 1 – План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполненных работ	Исполнители	Прод- сть, дн
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи работникам	Руководитель	2
		Инженер	2
2	Расчет нагрузки монтажно-заготовительного цеха	Инженер	9
3	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер	10
4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Инженер	1
5	Выбор трансформаторов цеховых подстанций. Техникоэкономический расчет компенсирующих устройств	Инженер	4
6	Выбор трансформаторов ГПП. Технико-экономический расчет схемы внешнего электроснабжения	Руководитель	2
		Инженер	5
7	Расчет внутриводской сети предприятия	Инженер	10
8	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.	Инженер	1
9	Выбор электрооборудования в сети выше 1000 В (выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы тока и напряжения.	Инженер	3
10	Расчет схемы электроснабжения монтажно-заготовительного цеха	Руководитель	2
		Инженер	8

Продолжение Таблицы 1

11	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже1000 В.	Инженер	2
12	Расчет молниезащиты	Инженер	1
13	Расчет релейной защиты и автоматики	Инженер	1
14	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер	4
15	Составление расчетно-пояснительной записки	Руководитель	2
		Инженер	20
16	Чертежные работы	Руководитель	2
		Инженер	20
Итого по каждой должности		Руководитель	10
		Инженер	101
Итого			101

На основе таблицы 1 построим календарный план-график.



## Календарный план график

№ п/п	Перечень выполненных работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ									
			Февраль	Март			Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи работникам	Руководитель										
		Инженер										
2	Расчет нагрузки монтажно-заготовительного цеха	Инженер										
3	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер										
4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Инженер										
5	Выбор трансформаторов цеховых подстанций. Техникоэкономический расчет компенсирующих устройств	Инженер										
6	Выбор трансформаторов ГПП. Технико-экономический расчет схемы внешнего электроснабжения	Руководитель										
		Инженер										
7	Расчет внутризаводской сети предприятия	Инженер										
8	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.	Инженер										
9	Выбор электрооборудования в сети выше 1000 В (выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы тока и напряжения.	Инженер										
10	Расчет схемы электроснабжения монтажно-заготовительного цеха	Руководитель										
		Инженер										
11	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже1000 В.	Инженер										
12	Расчет молниезащиты	Инженер										
13	Расчет релейной защиты и автоматики	Инженер										
14	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер										
15	Составление расчетно-пояснительной записки	Руководитель										
		Инженер										
16	Чертежные работы	Руководитель										
		Инженер										

- руководитель
  - инженер

### 10.3Смета затрат на проект

Затраты на разработку проекта

$$\Sigma \text{Ипр} = \text{Имат} + \text{Изп} + \text{Исо} + \text{Иам} + \text{Ипр} + \text{Инакл},$$

где Имат – материальные затраты;

Изп – заработная плата;

Исо – отчисления в социальные фонды;

Иам – амортизация компьютерной техники;

Ипр – прочие затраты;

Инакл – накладные расходы.

#### 1) Материальные затраты

Таблица 2 – Затраты на материалы

Материалы	Количество	Цена за единицу, руб	Им,руб
Флеш память	1	450,0	450,0
Упаковка бумаги А4 500 листов	1	300,0	300,0
Канцтовары	-	800,0	800,0
Картридж для принтера	1	2000,0	2000,0
Итого Имм, руб			3550,0

#### 2) Расчет зарплаты

##### а) Месячная зарплата научного руководителя

$$I_{\text{зн}}^{\text{мес}} = (\text{ЗП}_0 + Д) \cdot K_1 \cdot K_2 = (23300,0 + 2200,0) \cdot 1,16 \cdot 1,3 = 38454,0 \text{ руб},$$

где ЗП<sub>0</sub> – месячный оклад;

Д–доплата за интенсивность труда;

K<sub>1</sub> – коэффициент, учитывающий отпуск;

K<sub>2</sub> – районный коэффициент (1,3 для Томской области).

Зарплата научного руководителя с учетом фактически отработанных дней

$$I_{\text{зн}}^{\phi} = \frac{I_{\text{зн}}^{\text{мес}}}{21} \cdot n = \frac{38454,0}{21} \cdot 10,0 = 18311,4 \text{ руб},$$

Где n – количество отработанных дней по факту.

##### б) Месячная зарплата инженера

$$I_{\text{зн}}^{\text{мес}} = (ЗП_o + Д) \cdot K_2 \cdot K_1 = 14500,0 \cdot 1,10 \cdot 1,3 = 20735,0 \text{ руб.},$$

Зарплата инженера с учетом фактически отработанных дней

$$I_{\text{зн}}^{\phi} = \frac{I_{\text{зн}}^{\text{мес}}}{21} \cdot n = \frac{20735,0}{21} \cdot 101,0 = 99727,4 \text{ руб.},$$

в) Итого ФЗП приведен

$$I_{\text{ФЗП}} = 18311,4 + 99725,5 = 118036,9 \text{ руб.},$$

Расчет месячных зарплат исполнителей и расчет ФЗП представлен в таблице 2

Таблица 3 – Расчет ФЗП

Должность	ЗП, руб	Д, руб	K1	K2	И, руб	n, дн	I <sub>ФЗП</sub>
Руководитель	23300,0	2200,0	1,16	1,3	38454,0	10	18311,4
Инженер	14500,0	-	1,10	1,3	20735,0	101	99725,5
<b>Итого</b>							<b>118036,9</b>

3) Отчисления в социальные фонды (соц. страхование, пенсионный фонд, мед. страховка) в размере 30% от ФЗП

$$I_{\text{со}} = 0,3 \cdot 118036,9 = 35346,4 \text{ руб.},$$

4) Амортизация основных фондов

Основной объем работы был произведен на персональных компьютерах.

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.КТ}}}{T_{\text{кал}}} \cdot Ц_{\text{КТ}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{60}{365} \cdot 40000,0 \cdot \frac{1}{5} = 1315,1 \text{ руб.},$$

Где  $T_{\text{исп.КТ}}$  – время использования компьютерной техники на проект;

$T_{\text{кал}} = 365$  – годовой действительный фонд рабочего времени используемого оборудования;

$Ц_{\text{КТ}}$  – первоначальная стоимость оборудования, руб;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники (время окупаемости 5 лет).

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Амортизация основных фондов

Оборудование	Стоимость, руб	Количество	Тз, дне	Иам, руб
Компьютер инженера	40000,0	1	60	1315,1
Компьютер руководителя	37000,0	1	6	121,6
Принтер	6000,0	1	8	26,3
Компьютерный стол инженера	8000,0	1	60	263,0
Компьютерный стол руководителя	8000,0	1	6	26,3
Стул инженера	2000,0	1	60	65,8
Стул руководителя	2000,0	1	6	6,6
Итого Иам, руб				1824,7

5) Прочие расходы (услуги связи, затраты на ремонт оборудования...) в размере 10% от ФЗП, затрат на материалы, амортизацию и отчислений в социальные фонды

$$I_{пр} = 0,1(I_{ФЗП} + I_{мат} + I_{ам} + I_{со}) = \\ = 0,1(118036,9 + 3550,0 + 1824,7 + 35411,1) = 15882,3 \text{ руб},$$

6) Накладные расходы (затраты на отопление, свет, обслуживание помещений...)

$$I_{накл} = 2\%I_{ФЗП} = 2\%118036,9 = 236073,8 \text{ руб},$$

7) Затраты на разработку проекта (себестоимость)

$$\sum I = I_{ФЗП} + I_{мат} + I_{ам} + I_{со} + I_{пр} + I_{накл} = \\ = 118036,4 + 3550,0 + 1824,7 + 35411,1 + 15882,3 + 236073,8 = \\ = 410778,7 \text{ руб},$$

Расчет сметы затрат на разработку проекта сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Калькуляция сметной стоимости на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, руб.
1	ФЗП	118036,9
2	Материалы Имат	3550,0
3	Амортизация основных фондов Иам	1824,7
4	Социальные отчисления Исо	35411,1
5	Прочие расходы Ипр	15882,3
6	Накладные расходы Инакл	236073,8
<b>Цена проекта <math>\sum И</math></b>		<b>410778,7</b>

#### 10.4 Формирование варианта оборудования

Таблица 6 - Матрица структурного решения выбора

№ параметра	Морфологический признак (параметр)	Вид (способ) исполнения		
		1	2	3
1	Вид тока	постоянный	переменный	импульсный
2	Охлаждение трансформаторов	охлаждение с естественной циркуляцией воздуха и масла	охлаждение с принудительной циркуляцией масла	естественная циркуляция воздуха
3	Материал кабеля	Аллюминий	Медь	-
4	Марка кабеля	ААШв	АВВГ	НРГ
5	Защитная аппаратура	Плавкие предохранители	Автоматические предохранители	-
6	Силовые распределительные пункты	Щиты распределительные	Типовое РП	-
7	Схема внутрицехового электроснабжения	Радиальная	Магистральная	-
Вариант решения				

### 10.5 Смета затрат на электрооборудование

Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха

№ п/п	Наименование оборудования	Единицы измерения	Количество	Сметная стоимость, тыс. руб.		Общая стоимость, тыс. руб.	
				Оборудование	Монтаж	Оборудование	Монтаж
1	ТМН-2500/35	шт	2	3900,0	550,0	7800,0	1100,0
	ТМГ-400/10	шт	10	360,0	100,0	3600,0	1000,0
2	ВППП-10-630-31,5У3	шт	2	63,0	56,0	126,0	112,0
3	ТОЛ-0,66-У3	шт	2	40,0	9,5	80,0	19,0
	ЗНОЛ.06	шт	2	25,0	5,0	50,0	10,0
4	ПР8503	шт	12	25,0	2,0	300,0	24,0
5	Автомат ВА74-35	шт	6	2,4	1,2	14,4	7,2
	Автомат ВА13-29	шт	12	5,0	2,7	60,0	32,4
	Автомат ВА51-31	шт	8	2,9	0,6	23,2	4,8
	Автомат ВА51-26	шт	9	4,2	2,3	37,8	20,7
6	Кабель АВВГ(4х25)	км	0,090	55,3	11,0	5,0	1,0
	Кабель АВВГ(4х35)	км	0,010	75,1	15,2	0,8	0,2
	Кабель АВВГ(4х4)	км	0,160	12,6	2,2	2,0	0,4
	Кабель АВВГ(4х50)	км	0,087	100,0	20,0	8,7	1,7
	Кабель АВВГ(4х6)	км	0,130	16,8	3,2	2,2	0,4
<b>Итого по цеху, тыс. руб</b>						<b>12110,0</b>	<b>2333,8</b>

Полная стоимость затрат на разработку проекта, оборудование и монтаж

$$K = \sum I + K_{об} + K_{монт} = 4100778,7 + 12110,0 + 2333,8 = 425222,5 \text{ руб.},$$

## Заключение

В данной работе рассчитана сеть электроснабжения монтажно-заготовительного цеха производственного предприятия ООО «Кемеровоэлектромонтаж».

В результате расчетов определены:

- полная расчетная нагрузка монтажно-заготовительного цеха методом упорядоченных диаграмм;
- полная суммарная активная и реактивная нагрузка предприятия;
- полная расчетная мощность.

Также определены число и мощность силовых трансформаторов КТП, и рассмотрена схема КТП. Количество трансформаторов на предприятии составляет: 2 марки ТМ-400/10.

Электроснабжение предприятия осуществляется от КРУ-10 кВ ПС-220 «Заискитимская». Питание предприятие получает по двухцепной кабельной линии напряжением 10 кВ. Линия проложена в траншее, кабелем ААБв (4х25). В КТП 10 кВ, с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей первой и второй категории, установлены два трансформатора марки ТМ-400/10.

Выбрана КТП 10 кВ типа 2КТПТАС с АВР мощность 630 кВА. Питание распределительных устройств 0,4 кВ осуществляется по двухцепным кабельным линиям марки АВВГ.

По результатам расчета нагрузки по цехам предприятия построена картограмма нагрузок для потребителей 0,4 кВ, определен центр нагрузок. КТП 10 кВ установлена со смещением в сторону питающей сети.

Произведен выбор автоматических выключателей для защиты распределительных шкафов и электроприемников монтажно-заготовительного цеха. Выбраны кабели, питающие распределительные пункты (0,4 кВ), типа АВВГ.

По результатам расчетов построены эпюры отклонений напряжения для максимального, минимального и послеаварийного режимов. Анализ эпюр показал, что во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого  $\pm 5\%$ .

По результатам расчетов токов КЗ в сети 0,4 кВ построена карта селективности действия защитных аппаратов. По карте видно, что все аппараты защиты работают селективно.

В разделе социальной ответственности были рассмотрены опасные и вредные факторы, воздействующие на рабочего в цех, и предложены меры к устранению этих факторов, или снижению величины их воздействия.

В экономической части составлены сметы на проектирование и на электрооборудование цеха, определен экономический эффект от внедрения нового оборудования.



## Список литературы

1. Справочник по проектированию электроснабжения/Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 567 с.
2. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Учебное пособие. – Томск.: ТПУ, 2006 – 248 с.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанции и подстанции: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
4. Климова Г.Н. Элементы энергосбережения в электроснабжении промышленных предприятий: учебное пособие / Г.Н. Климова, А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
5. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. – М: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 320 с.
6. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению курсового проекта для студентов специальности 100400 «Электроснабжение» (по отраслям) ИДО. Том. политех. ун-т. – Томск, 2004. – 112 с.
7. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/В.В. Ершевич, А.Н. Зейлегер, Г.А. Илларионов и др.; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 352 с.
8. Мельников М.А. Внутрицеховое электроснабжение: учебное пособие / М.А. Мельников. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 167 с.
9. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Минэнерго, 2002. – 367 с.
10. Мельников М.А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 142 с.
11. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие/ Том. политехн. ун-т. – Томск, 2002. – 100 с.
12. Расчет искусственного освещения: методические указания к выполнению индивидуальных заданий / ТПУ; сост. О.Б. Назаренко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 15 с.
13. Плахов А.М. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 156 с.

14. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ С.В.Белов, А.В.Ильницкая, А.Ф.Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В.Белова. 2-е изд., испр. и доп. - М.:Высш.шк., 1999. – 448 с.: ил.
15. Расчет искусственного освещения: методические указания к выполнению индивидуальных заданий / ТПУ; сост. О.Б. Назаренко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 15 с.
16. ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
17. ГОСТ 12.2.003-91 «Производственное оборудование, общие требования безопасности».
18. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
19. СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
20. СНиП 2.04.05-91 «Нормы производственной вентиляции».
21. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
22. ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».
23. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
24. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
25. ГОСТ 12.1.002 – 84 «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах».
26. ГОСТ 12.1.045 – 84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
27. ГОСТ 17.0.001-86 «Мероприятия по охране окружающей среды. Основные положения».
28. ГОСТ 12.0.003 – 82 «Опасные и вредные производственные факторы»